

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年12月27日

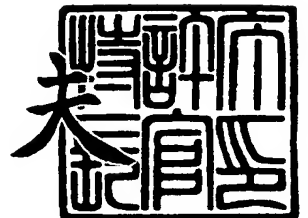
出願番号  
Application Number: 特願2002-382473  
[ST. 10/C]: [JP2002-382473]

出願人  
Applicant(s): セイコーエプソン株式会社

2003年10月22日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3086358

【書類名】 特許願  
【整理番号】 14P292  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G06F 3/00

## 【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 窪田 晃

## 【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 佐藤 茂美

## 【特許出願人】

【識別番号】 000002369

【氏名又は名称】 セイコーエプソン株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100091292

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 増田 達哉

【電話番号】 3595-3251

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100091627

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 朝比 一夫

【電話番号】 3595-3251

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007593

【納付金額】 21,000円

**【提出物件の目録】**

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0015134

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 力覚提示装置及び画像補正方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 仮想空間画像を生成する画像生成手段と、  
前記画像生成手段によって生成された仮想空間画像を表示する表示手段と、  
前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生する力覚発生手段と、

前記指に装着され、前記力覚発生手段によって発生された力覚を前記指に提示する力覚提示手段と、

前記力覚提示手段が装着された指先を対象物に接触させた際、前記表示手段によって表示される仮想空間画像において前記力覚提示手段の厚みを取り除くように、前記画像生成手段によって生成された前記仮想空間画像を補正する画像補正手段と、

を備えることを特徴とする力覚提示装置。

【請求項 2】 仮想空間画像を生成する画像生成手段と、  
前記画像生成手段によって生成された仮想空間画像を表示する表示手段と、  
前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生する力覚発生手段と、

前記指に装着され、前記力覚発生手段によって発生された力覚を前記指に提示する力覚提示手段と、

前記力覚提示手段が装着された 2 本の指先を接触させた際、前記表示手段によって表示される仮想空間画像において前記力覚提示手段の厚みを取り除くように、前記画像生成手段によって生成された前記仮想空間画像を補正する画像補正手段と、

を備えることを特徴とする力覚提示装置。

【請求項 3】 前記表示手段は、前記ユーザが前記力覚提示手段を最初に装着したときに前記画像補正手段によって前記仮想空間画像が補正されるように、ユーザへの指示を表示する請求項 1 又は 2 に記載の力覚提示装置。

【請求項 4】 前記力覚提示手段が装着された前記指の仮想空間における位



置を検出する位置検出手段を更に備え、

前記画像補正手段は、前記位置検出手段によって検出された前記2本の指先の位置情報に基づいて、前記力覚提示手段の厚みを取り除くよう構成される請求項1乃至3のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項5】 前記位置検出手段は、前記力覚提示手段を装着したユーザの前記2本の指先が基準姿勢にある状態において、前記指先の仮想空間における位置を検出し、

前記画像補正手段は、前記2本の指先を接触させたときの位置と前記基準姿勢における前記2本の指先の位置との相対的な位置情報、及び、前記力覚提示手段の厚みを取り除いた際の前記2本の指先の位置と前記基準姿勢における前記2本の指先の位置との相対的な位置情報に基づいて、前記仮想空間における前記2本の指先の一方の指先の位置が、前記基準姿勢の位置と前記力覚提示手段の厚みが取り除かれた場合の接触位置の間において他方の指先の位置から比例拡大された位置になるように、前記仮想空間画像を補正する請求項4に記載の力覚提示装置。

【請求項6】 前記画像補正手段は、前記力覚提示手段の厚みをオフセットとして前記仮想空間画像を補正する請求項1乃至3のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項7】 前記力覚提示手段は、複数のリンクと該リンク間を連結する複数の節とから構成されるアーム部と、前記指に装着する力覚提示部と、前記アーム部と前記力覚提示部とを連結する連結部とから構成される請求項1乃至6のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項8】 前記力覚発生手段は、前記複数の節にそれぞれ配置されるモータである複数のアクチュエータから構成される請求項7に記載の力覚提示装置。

【請求項9】 前記力覚提示手段は、複数のリンクと該リンク間を連結する複数の節とから構成されるアーム部と、前記指に装着する力覚提示部と、前記アーム部と前記力覚提示部とを連結する連結部とから構成されるとともに、前記力覚発生手段は、前記複数の節にそれぞれ配置される複数のモータから構成され、

前記位置検出手段は、前記複数のモータの出力軸に連結された複数のエンコーダによって、前記複数のモータのそれぞれの回転角度を検出することによって前記指先の位置を検出する請求項 4 又は 5 に記載の力覚提示装置。

【請求項 10】 前記位置検出手段によって検出された前記指の仮想空間における位置情報及び予め設定されている仮想空間内の対象物の位置情報に基づいて、前記指が該対象物と干渉しているか否かを判定する干渉判定手段と、

前記干渉判定手段によって前記指と前記対象物とが干渉していると判定された場合には、前記対象物の物性データ及び状態量データに基づいて、前記指に提示する作用力を演算する演算手段とを更に備え、

前記力覚発生手段は、前記演算手段の演算結果に基づいて、前記力覚提示手段によって前記ユーザの指先に提示する力覚を発生する請求項 4、5 及び 9 のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項 11】 仮想空間画像を生成し、生成された仮想空間画像を表示し、前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生してその指に装着された力覚提示部によってその力覚を前記指に提示する力覚提示装置の画像補正方法であって、

前記力覚提示部を装着した前記ユーザの指先を対象物に接触させたときに表示される仮想空間画像において、前記力覚提示部の厚みを取り除かれて前記指先が前記対象物に接触しているように、前記仮想空間画像を補正することを特徴とする画像補正方法。

【請求項 12】 仮想空間画像を生成し、生成された仮想空間画像を表示し、前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生してその指に装着された力覚提示部によってその力覚を前記指に提示する力覚提示装置の画像補正方法であって、

前記力覚提示部を装着した前記ユーザの 2 本の指先を接触させたときに表示される仮想空間画像において、前記力覚提示部の厚みを取り除かれて前記 2 本の指先が接触しているように、前記仮想空間画像を補正することを特徴とする画像補正方法。

【請求項 13】 前記力覚提示部を装着した前記ユーザの指の仮想空間にお

ける位置を検出し、検出された前記指先の位置情報に基づいて、前記力覚提示部の厚みを取り除くように前記仮想空間画像を補正する請求項 11 又は 12 に記載の画像補正方法。

【請求項 14】 前記力覚提示部を装着したユーザの前記 2 本の指先が基準姿勢にある状態において前記指先の仮想空間における位置を検出するとともに、前記 2 本の指先を接触させた状態における前記指先の位置を検出し、前記 2 本の指先の接触状態における位置情報に基づいて、前記力覚提示部の厚みを取り除いた際の前記仮想空間における前記 2 本の指先の位置を演算し、前記基準姿勢にある状態の前記指先の位置と前記接触状態における前記指先の位置又は前記演算された指先の位置との相対的な位置情報に基づいて、前記仮想空間における前記 2 本の指先の一方の指先の位置が、前記基準姿勢における位置と前記力覚提示部の厚みを取り除かれた場合の接触位置の間において他方の指先の位置から比例拡大された位置になるように、前記仮想空間画像を補正する請求項 12 に記載の画像補正方法。

【請求項 15】 前記力覚提示部の厚みをオフセットとして前記仮想空間画像に表示する前記 2 本の指先の一方の指先の位置を補正する請求項 12 に記載の画像補正方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、力覚提示装置及びその力覚提示装置における画像補正方法に関し、より詳細には、仮想空間（バーチャルリアリティ）システムにおいて利用される力覚提示装置及びその力覚提示装置における画像補正方法に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

従来の力覚提示装置は、モータなどのアクチュエータとクラッチを用いたもの（例えば、特許文献 1 参照）、エアや液体などの流体を利用したもの（例えば、特許文献 2 参照）、あるいは、ワイヤとそれを巻き取る電動機を利用したもの（例えば、特許文献 3 参照）などがあり、それらは、操作者と対象物との相互作用

を弾性及び粘性を用いて表現している。

【0003】

【特許文献1】

特開 2000-246674 号公報

【特許文献2】

特開 2000-99240 号公報

【特許文献3】

特開平 6-324622 号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許文献 2 又は 3 に記載されている従来の力覚提示装置のように、力覚提示部が力覚を提示する部位（例えば、指先など）を覆うように装着されている場合において、それらの部位の位置を検出し仮想空間画像内に取り込むとき、仮想空間内においてその容積や厚みを考慮して当該部位を表示しなければならないという問題があった。

【0005】

すなわち、このような従来の力覚提示装置では、力覚提示部の厚みなどを考慮して仮想空間画像を生成及び表示していないため、力覚提示部の厚みよりも薄い仮想空間内の対象物、例えば、紙などを掴もう（摘もう）とした場合、実際に検出された指先の位置情報を用いると仮想空間画像を適切に表示することができず（すなわち、指先で紙を掴んでいるように表示することができず）、また、上記部位と上記対象物との相互作用を適切に提示できない（すなわち、上記部位と上記対象物の位置が干渉していると判断（判定）することができないために、その対象物に適した力覚を提示することができない）という問題があった。

【0006】

本発明の目的は、仮想空間内に表示された力覚を提示される部位の厚みを考慮して仮想空間画像を補正することにより、仮想空間画像に応じて、力覚を提示する部位を適切に表示することができる力覚提示装置及び画像補正方法を提供することにある。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の一態様において、本発明の力覚提示装置は、

仮想空間画像を生成する画像生成手段と、

前記画像生成手段によって生成された仮想空間画像を表示する表示手段と、

前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生する力覚発生手段と、

前記指に装着され、前記力覚発生手段によって発生された力覚を前記指に提示する力覚提示手段と、

前記力覚提示手段が装着された指先を対象物に接触させた際、前記表示手段によって表示される仮想空間画像において前記力覚提示手段の厚みを取り除くように、前記画像生成手段によって生成された前記仮想空間画像を補正する画像補正手段と、

を備えることを特徴とする。

## 【0008】

本発明の力覚提示装置によれば、画像生成手段によって生成された仮想空間画像は、力覚発生手段によって発生される力覚が力覚提示手段を介してユーザの指に提示されるときに、この力覚提示手段を装着したユーザの指先と仮想空間中の対象物が接触しているように表示手段によって表示されるように、ユーザの指先に装着される力覚提示手段の厚みを取り除くように補正される。

## 【0009】

また、本発明の別の実施形態における力覚提示装置は、

仮想空間画像を生成する画像生成手段と、

前記画像生成手段によって生成された仮想空間画像を表示する表示手段と、

前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生する力覚発生手段と、

前記指に装着され、前記力覚発生手段によって発生された力覚を前記指に提示する力覚提示手段と、

前記力覚提示手段が装着された 2 本の指先を接触させた際、前記表示手段によって表示される仮想空間画像において前記力覚提示手段の厚みを取り除くように、前記画像生成手段によって生成された前記仮想空間画像を補正する画像補正手段と、

を備えることを特徴とする。

#### 【0 0 1 0】

この力覚提示装置によれば、上述のユーザの指先と仮想空間中の対象物とが接触（干渉）する場合と異なり、ユーザの 2 本の指先が接触（干渉）する場合にも同様の作用を奏する。

したがって、本発明の力覚提示装置によって、仮想空間において、ユーザの指先などに装着された力覚提示部の厚み（バイアス）の影響を受けることなく、ユーザの位置・姿勢などの自然な状態を表現することができる。

#### 【0 0 1 1】

ここで、前記表示手段は、前記ユーザが前記力覚提示手段を最初に装着したときに前記画像補正手段によって前記仮想空間画像が補正されるように、ユーザへの指示、例えば、メッセージなどを表示してもよく、あるいは、本発明の力覚提示装置は、音声によってユーザに指示を与えるように構成されてもよい。また、好ましくは、力覚提示手段が提示する前記力覚は、仮想空間画像における対象物からの反力に対応したものである。

#### 【0 0 1 2】

なお、好ましくは、実空間において干渉することを考慮して、好ましくは、前記 2 本の指は、前記ユーザの親指と親指以外の指のいずれか 1 本の指であり、仮想空間画像が補正される前記 2 本の指先の一方は、親指以外の指のいずれか 1 本の指である。

ここで、好ましくは、前記力覚提示手段が装着された前記指の仮想空間における位置を検出する位置検出手段を更に備え、前記画像補正手段は、前記位置検出手段によって検出された前記 2 本の指先の位置情報に基づいて、前記力覚提示手段の厚みを取り除くよう構成される。

#### 【0 0 1 3】

この場合において、前記位置検出手段は、前記力覚提示手段を装着したユーザの前記 2 本の指先が基準姿勢にある状態において、前記指先の仮想空間における位置を検出し、前記画像補正手段は、前記 2 本の指先を接触させたときの位置と前記基準姿勢における前記 2 本の指先の位置との相対的な位置情報、及び、前記力覚提示手段の厚みを取り除いた際の前記 2 本の指先の位置と前記基準姿勢における前記 2 本の指先の位置との相対的な位置情報に基づいて、前記仮想空間における前記 2 本の指先の一方の指先の位置が、前記基準姿勢の位置と前記力覚提示手段の厚みが取り除かれた場合の接触位置の間において他方の指先の位置から比例拡大された位置になるように、前記仮想空間画像を補正してもよい。ここで、好ましくは、前記基準姿勢は、前記ユーザが手を広げたときの姿勢である。

#### 【0014】

本発明の一実施形態において、前記画像補正手段は、前記力覚提示手段の厚みをオフセットとして前記仮想空間画像を補正するように構成されてもよい。

また、本発明の他の実施形態において、前記力覚提示手段は、複数のリンクと該リンク間を連結する複数の節とから構成されるアーム部と、前記指に装着する力覚提示部と、前記アーム部と前記力覚提示部とを連結する連結部とから構成され、前記力覚発生手段は、前記複数の節にそれぞれ配置されるモータである複数のアクチュエータから構成されてもよい。

#### 【0015】

このような場合において、前記位置検出手段は、前記複数のモータの出力軸に連結された複数のエンコーダによって、前記複数のモータのそれぞれの回転角度を検出することによって前記指先の位置を検出するように構成されてもよい。そして、本発明の力覚提示装置は、前記位置検出手段によって検出された前記指の仮想空間における位置情報及び予め設定されている仮想空間内の対象物の位置情報に基づいて、前記指が該対象物と干渉しているか否かを判定する干渉判定手段と、

前記干渉判定手段によって前記指と前記対象物とが干渉していると判定された場合には、前記対象物の物性データ及び状態量データに基づいて、前記指に提示する作用力を演算する演算手段とを更に備え、

前記力覚発生手段は、前記演算手段の演算結果に基づいて、前記力覚提示手段によって前記ユーザの指先に提示する力覚を発生するように構成してもよい。

【0016】

さらに、本発明の力覚提示装置は、前記力覚提示手段の所定の一方向への移動を規制する移動規制手段と、

前記移動規制手段の作動／不作動を切り替えるクラッチ機構と、

前記演算手段によって演算された作用力が前記予め設定された所定の閾値を超えているか否かを判別する判別手段とを更に備え、

前記クラッチ機構は、前記判別手段の判別結果に基づいてそのオン／オフを切り替えることにより、前記移動規制手段を作動させあるいは不作動とするように構成してもよい。

【0017】

また、好ましくは、本発明の力覚提示装置は、少なくとも前記対象物の位置情報データ、前記物性データ及び前記状態量データを記憶する記憶手段を更に備える。さらに、好ましくは、前記画像生成手段は、前記位置検出手段によって検出された前記指の仮想空間における位置情報に基づいて、所定の時間間隔で前記仮想空間画像を更新して生成し、前記表示手段は、前記指の移動にともなって更新された前記仮想空間画像を連続的に表示する。なお、前記表示手段は、顔面に装着して使用するものであってもよい。

【0018】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の態様において、本発明の画像補正方法は、仮想空間画像を生成し、生成された仮想空間画像を表示し、前記仮想空間画像に応じて、ユーザの指に与える力覚を発生してその指に装着された力覚提示部によってその力覚を前記指に提示する力覚提示装置の画像補正方法であって、

前記力覚提示部を装着した前記ユーザの指先を対象物に接触させたときに表示される仮想空間画像において、前記力覚提示部の厚みを取り除かれて前記指先が前記対象物に接触しているように、前記仮想空間画像を補正することを特徴とする。



あるいは、前記力覚提示部を装着した前記ユーザの 2 本の指先を接触させたときに表示される仮想空間画像において、前記力覚提示部の厚みを取り除かれて前記 2 本の指先が接触しているように、前記仮想空間画像を補正することを特徴とする。

#### 【0019】

本発明の画像補正方法によれば、仮想空間において、ユーザの指先などに装着された力覚提示部の厚みの影響を受けることなく、ユーザの位置・姿勢などの自然な状態を表現することができる。

また、好ましくは、本発明の画像補正方法は、前記力覚提示部を装着した前記ユーザの指の仮想空間における位置を検出し、検出された前記指先の位置情報に基づいて、前記力覚提示部の厚みを取り除くように前記仮想空間画像を補正する。これにより、仮想空間におけるユーザの指先の位置を正確に検出して、それに基づいて上記力覚提示部の厚みを取り除くことができ、上記と同様に、仮想空間において、ユーザの指先などに装着された力覚提示部の厚みの影響を受けることなく、ユーザの位置・姿勢などの自然な状態を表現することができる。

#### 【0020】

この場合、前記力覚提示部を装着したユーザの前記 2 本の指先が基準姿勢にある状態において前記指先の仮想空間における位置を検出するとともに、前記 2 本の指先を接触させた状態における前記指先の位置を検出し、前記 2 本の指先の接触状態における位置情報に基づいて、前記力覚提示部の厚みを取り除いた際の前記仮想空間における前記 2 本の指先の位置を演算し、前記基準姿勢にある状態の前記指先の位置と前記接触状態における前記指先の位置又は前記演算された指先の位置との相対的な位置情報に基づいて、前記仮想空間における前記 2 本の指先の一つの指先の位置が、前記基準姿勢における位置と前記力覚提示部の厚みを取り除かれた場合の接触位置の間において他方の指先の位置から比例拡大された位置になるように、前記仮想空間画像を補正してもよい。

また、上記の画像補正方法の代わりに、前記力覚提示部の厚みをオフセットとして前記仮想空間画像に表示する前記 2 本の指先の一つの指先の位置を補正してもよい。

## 【 0 0 2 1 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の力覚提示装置及び画像補正方法を添付図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態は例示として挙げるものであり、これにより本発明を限定的に解釈すべきではない。

図 1 は、本発明の力覚提示装置の第 1 実施形態及びその力覚提示装置を有する力覚提示システムの構成例を示す概念図、図 2 は、図 1 に示すリアルグローブ（力覚提示装置）の回路構成例を示すブロック図である。図 3 は、図 1 に示すリアルグローブの外観構成例を示す外観図（一部図示を省略）である。

## 【 0 0 2 2 】

図 1 に示すように、力覚提示システム 1 は、ユーザ（使用者）の手（指）に装着され、装着された手や各指に対して触覚（触った感覚、例えば、質感、形状、強さ等の接触強度の分布）や力覚（触ったときに加わる力の感覚）を与える一対のリアルグローブ（データグローブ） 2 0、2 0 と、仮想空間画像（仮想空間映像）を表示する仮想空間表示装置（表示装置） 5 と、各リアルグローブ 2 0 及び仮想空間表示装置 5 の駆動制御等の種々の処理を行う情報処理装置 8 と、仮想空間画像を作成し、仮想空間画像を用いた各種のサービスを提供する基地局 9 とを備えている。

## 【 0 0 2 3 】

各リアルグローブ 2 0、仮想空間表示装置 5、情報処理装置 8 及び基地局 9 は、それぞれ、無線（例えば、無線 LAN（Local Area Network）、赤外線データ通信（IrDA：Infrared Data Association）、Bluetoothなど）で信号の送信及び受信（無線通信）を行うことができる無線通信機能（通信手段）を有しており、情報処理装置 8 と、各リアルグローブ 2 0、仮想空間表示装置 5 及び基地局 9 との間で、それぞれ、通信を行うことができるようになっている。

## 【 0 0 2 4 】

この力覚提示システム 1 は、基地局 9、仮想空間表示装置 5 及び各リアルグローブ 2 0 から供給された情報に基づいて情報処理装置 8 によって作成（生成）された仮想空間画像を仮想空間表示装置 5 に表示し、リアルグローブ 2 0 を装着し

た手や指を動作させることによってその手や指が仮想空間に表示された物体に仮想的に接触した場合等に、その様子を仮想空間表示装置 5 に表示するとともに、リアルグローブ 20 を装着した手や各指に接触したときの触覚や力覚を与えるための各処理を行う。

#### 【0025】

情報処理装置 8 は、例えば、携帯電話端末、無線通信機能を有するパーソナルコンピュータ、PDA (Personal Digital Assistants) と呼ばれる携帯型情報機器などの、無線通信機能（通信手段）及び制御機能を備えた各種の装置により構成される。

また、基地局 9 は、例えば、インターネットに接続されている各種サーバコンピュータ、携帯電話端末と無線通信を行う携帯電話基地局などの、仮想空間画像に関する情報を提供する各種の装置により構成される。

#### 【0026】

なお、本実施形態では、各リアルグローブ 20、仮想空間表示装置 5、情報処理装置 8 及び基地局 9 が無線通信機能を有する構成としているが、例えば、その一部又はすべてが有線通信を行う構成とされていてもよい。

また、情報処理装置 8 が、基地局 9 の機能の一部又はすべてを有していてもよい。後述する図 24 の力覚提示処理（力覚提示方法）では、便宜的に情報処理装置 8 に基地局 9 のすべての機能が含まれるものとして説明する。

#### 【0027】

また、リアルグローブ 20 が、仮想空間表示装置 5、情報処理装置 8 及び基地局 9 の機能の一部又はすべてを有していてもよい。

ここで、力覚提示装置 2 は、本実施形態では、一対のリアルグローブ 20、20、すなわち、ユーザの左手に装着される左手用のリアルグローブ 20 と、ユーザの右手に装着される右手用のリアルグローブ 20 とで構成されている。以下の説明では、代表的に一方のリアルグローブ 20 を説明する。

#### 【0028】

なお、本発明では、力覚提示装置 2 は、一方のリアルグローブ 20 で構成されていてもよい。

また、本発明では、力覚提示装置 2 は、リアルグローブ 2 0 の他に、仮想空間表示装置 5、情報処理装置 8 及び基地局 9 のうちの、いずれか 1 つ又は 2 つ、あるいは、すべてを有していてもよい。この場合、力覚提示装置 2 は、それらの有する機能の一部を有していてもよく、また、すべてを有していてもよい。

#### 【0029】

図 2 に示すように、リアルグローブ 2 0 は、仮想空間に現れている（仮想空間画像上の）物体（対象物）に接触した指の感覚（例えば、質感、形状、強さ等の接触強度の分布）を発生させるための触覚発生部（触覚発生手段）2 1 と、仮想空間に現れている物体に接触したときに手や指にかかる力の強さの感覚を発生させるための力覚発生部（力覚発生手段）2 2 と、リアルグローブ 2 0 の各部の位置（リアルグローブ 2 0 を装着した手、手首、腕、指等の各部の位置）を検出する位置姿勢検出部 2 3 と、リアルグローブ 2 0 の各部を制御する制御部 2 4 と、情報処理装置 8 に送信するための信号の増幅等の信号処理を行う信号処理部 2 5 と、情報処理装置 8 との間で無線通信を行うための信号送受信部 2 6 とを有している。

また、図 3 に示すように、リアルグローブ 2 0 の全体形状は、略長手袋状（手袋状）をなしている。すなわち、リアルグローブ 2 0 は、その装着者（ユーザ）の指から腕の肘近傍まで（指から腕にかけて）装着する手袋状の装着手段として、腕を覆う筒状部 2 0 a を備えた比較的長い手袋 2 a を有している。

#### 【0030】

ユーザは、この手袋 2 a により、リアルグローブ 2 0 の装着及び取り外しを容易かつ確実に行うことができる。

また、手袋 2 a はユーザの手から腕にかけて装着されるので、仮想空間における動作（操作）を容易かつ確実に行うことができる。

この手袋 2 a には、指先に対応する部分の遊びを抑制又は防止する遊び吸収部 2 7 と、リアルグローブ 2 0 を手首に固定する手首固定部 2 8 と、該リアルグローブ 2 0 を腕に固定する腕固定部 2 d と、腕に対応する部分のねじれを吸収するねじれ吸収部 2 9 とが、それぞれ設けられている。

#### 【0031】

遊び吸収部 2 7 は、手袋 2 a の手首付近に対応する部分に設けられている。この遊び吸収部 2 7 は、例えば、各種ゴム等の弾性体で形成される。

ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着すると、遊び吸収部 2 7 の復元力（弾性力）により、手袋 2 a は、肘方向（基端側）に引っ張られ、その状態で保持される。これにより、指先に遊びができてしまうのを防止又は抑制することができる。

また、指の長さ等の手の寸法の異なる複数のユーザが使用する場合においても、遊び吸収部 2 7 により、それぞれ各ユーザにおいて、指先に遊びができてしまうのを防止又は抑制することができる。

#### 【 0 0 3 2 】

手首固定部 2 8 は、手袋 2 a の前記遊び吸収部 2 7 の肘側（基端側）に、遊び吸収部 2 7 に連続して設けられている。この手首固定部 2 8 は、例えば、各種ゴム等の弾性体で形成される。

ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着すると、手首固定部 2 8 の復元力（弾性力）により、手袋 2 a は、手首に固定される。これにより、使用中にリアルグローブ 2 0 がずれてしまうのを防止することができる。

また、この手首固定部 2 8 や前記遊び吸収部 2 7 により、後述する触覚発生部 2 1 のアクチュエータワイヤ 2 1 2 の束 2 1 2 a は、各アクチュエータワイヤ 2 1 2 がそれぞれその長手方向に移動し得るように所定の位置に保持される。

#### 【 0 0 3 3 】

腕固定部 2 d は、手袋 2 a の筒状部 2 0 a の肘側（基端側）の端部に設けられている。この腕固定部 2 d は、例えば、各種ゴム等の弾性体で形成される。

ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着すると、腕固定部 2 d の復元力（弾性力）により、手袋 2 a は、腕に固定される。これにより、使用中にリアルグローブ 2 0 がずれてしまうのを防止することができる。

#### 【 0 0 3 4 】

ねじれ吸収部 2 9 は、手袋 2 a の筒状部 2 0 a の途中、すなわち、前記手首固定部 2 8 と腕固定部 2 d との間に設けられている。

このねじれ吸収部 2 9 は、筒状部 2 0 a の一部に 3 つの開口 2 9 2 を形成して得られる 3 本の帯状部 2 9 1 で構成されている。各帯状部 2 9 1 は、それぞれ、

例えば、伸縮性のある材料で構成された布等の伸縮性のある部材で形成される。

#### 【0035】

ユーザがリアルグローブ 20 を装着し、例えば、手首をねじる動作をすると、各帯状部 291 が伸縮、変形し、これにより、筒状部 20a のねじれが吸収される。

このように、ねじれ吸収部 29 により、リアルグローブ 20 のねじれを防止することができ、このため、ユーザは、手や腕を容易かつ円滑に動かすことができる。

#### 【0036】

なお、ねじれ吸収部 29 の帯状部 291 の数は、2 本以下でもよく、また、4 本以上でもよい。

また、手袋 2a の各指の背側の各関節に対応する部分には、それぞれ、開口 21a が形成されている。

これらの開口 21a により、ユーザは、各指の各関節をそれぞれ容易かつ円滑に動かすことができる。

#### 【0037】

また、このリアルグローブ 20 には、手袋 2a の腕に対応する部分であって、前記ねじれ吸収部 29 よりも肘方向に位置する部分、すなわち、手袋 2a の筒状部 20a の肘側（基端側）の端部に、制御部 24、電力供給部 30、動力発生部 211 などが設けられている。

これら制御部 24、電力供給部 30 及び動力発生部 211 の配置を前記のようにすることにより、リアルグローブ 20 の指先側（先端側）の重量を軽く（慣性を小さく）することができ、これにより、ユーザは、動作（操作）を容易に行うことができる。

#### 【0038】

触覚発生部 21 の主要部は、ユーザがリアルグローブ 20 を装着したときに、ユーザの各指の第 1 関節（末節骨と中節骨との間の関節）から先の指先部分を覆う位置にそれぞれ設けられている。なお、各触覚発生部 21 の構成及び作用は、ほぼ同様であるので、以下、代表的に、そのうちの 1 つについて説明する。

図4は、触覚発生部21の構成例を示す縦断面図である。なお、図が煩雑になるのを避けるため、図中、一部、部材の厚みを省略して図示する。

#### 【0039】

触覚発生部21は、図4(A)に示すように、モータ(駆動源)211aを備える動力発生部(移動手段)211と、長手方向に移動可能に設置されたアクチュエータワイヤ(可撓性を有する線状体)212と、アクチュエータワイヤ212の一端を保持するワイヤ保持部(付勢手段)213と、触覚を発生させるために指腹を押圧する触覚提示ピン(押圧部)214と、触覚提示ピン214を支持するとともに触覚提示ピン214の移動方向を規制する触覚提示ピン支持部(移動方向規制手段)215とで構成される複数の単位触覚発生部(アクチュエータ)210を有している。各単位触覚発生部210は、互いに独立している。

なお、前記動力発生部211と、アクチュエータワイヤ212と、触覚提示ピン支持部215とで、触覚提示ピン214を駆動する駆動機構が構成される。

#### 【0040】

動力発生部211は、例えば、制御部24からの制御信号に応じて内部に備えるモータ211aを回転駆動し、そのモータ211aの回転駆動によってアクチュエータワイヤ212を巻き取る処理(アクチュエータワイヤ212をアクチュエータワイヤ212の長手方向に移動させる処理)を行う。制御部24は、情報処理装置8からの指示に従って、モータ211aの回転駆動が所定のトルクで所定時間なされるように動力発生部211を制御する。動力発生部211は、情報処理装置8からの指示に従ってモータ211aに回転動力を与えることで、アクチュエータワイヤ212を所定の長さ巻き取る処理を行う。

ワイヤ保持部213は、図4(A)に示すように、この実施形態では指の第1関節の近傍でアクチュエータワイヤ212の一端(終端)を保持する。このワイヤ保持部213は、例えばゴムやバネなどの弾性を有する部材(弾性体)により構成される。

#### 【0041】

従って、動力発生部211のモータ211aの駆動によりアクチュエータワイヤ212が巻き取られ、そのアクチュエータワイヤ212が図4(A)中の時計

回りに移動すると、それに伴ってワイヤ保持部 213 が伸張し、アクチュエータワイヤ 212 は、ワイヤ保持部 213 の復元力（弾性力）により、図 4（A）中の反時計回りの方向（触覚提示ピン 214 を突出させるときのアクチュエータワイヤ 212 の移動方向と逆方向）に付勢される。そして、動力発生部 211 のモータ 211a の駆動が停止し、アクチュエータワイヤ 212 の巻き取り状態が解除されると、ワイヤ保持部 213 が復元力（弾性力）によって収縮し、これにより、巻き取られていたアクチュエータワイヤ 212 が引き出され、図 4（A）中の反時計回りに移動する。

なお、動力発生部 211 は、アクチュエータワイヤ 212 の他端（始端）側に位置している。

#### 【0042】

触覚提示ピン 214 は、ユーザの指腹に接触感覚（接触の有無や強さ等）を与えるために用いられ、指腹に接触する部分である微小な接触板（接触部）214a と、接触板 214a を支持する支持部 214b とで構成される。支持部 214b は、その一端がアクチュエータワイヤ 212 の途中に固定され、その他端に接触板 214a が設けられている。

#### 【0043】

この実施形態では、図 4（A）に示すように、リアルグローブ 20 の手袋 2a は、指先を装着する（覆う）装着部が 2 重構造（例えば布などの部材を 2 枚重ね合わせて、重ね合わせた 2 枚の部材の間に何らかの部材が収納し得るような構造）になっており、指先を覆っている部分の内部（2 重構造の内部）に、前記アクチュエータワイヤ 212 の一部、ワイヤ保持部 213 及び支持部 214b と、触覚提示ピン 214 のアクチュエータワイヤ 212 の移動方向への移動を規制する触覚提示ピン支持部 215 とが設けられている。そして、指が収納される手袋 2a 内に、支持部 214b の一端側が突出し、接触板 214a が位置している。

この実施形態では、その接触板 214a は、リアルグローブ 20 を装着した手の指先に常に接触した状態となっている。なお、これに限らず、接触板 214a が指先から離間した状態（接触板 214a と指先とが非接触の状態）をとり得るように構成されていてもよい。



**【0044】**

図4 (A) では、説明を簡単にするため、1つの単位触覚発生部210 (1つの触覚提示ピン214) が代表して示されているが、前述したように、実際には、触覚発生部21は、複数の単位触覚発生部210を有しており、その複数の触覚提示ピン214は、ユーザがリアルグローブ20を装着したときのユーザの指先の指腹に対応する位置に、例えば、指腹に沿って、かつ指腹に対し行列状 (マトリックス状) に配置されている。

**【0045】**

各触覚提示ピン214の前後には、それぞれ、その触覚提示ピン214の支持部214bのアクチュエータワイヤ212の移動方向への移動を制限する触覚提示ピン支持部215が設けられている。

なお、前記各触覚提示ピン214は、規則的に配置されていてもよく、また、不規則に配置されていてもよい。

**【0046】**

次に、触覚発生部21による触覚発生動作について説明する。

ユーザがリアルグローブ20を装着し、手や指を動かすことによって仮想空間に現れている物体 (仮想物体)、すなわち対象物に、その指先 (指腹) が仮想的に接触すると、情報処理装置8は、後述する演算処理部81によって、対象物の物性データ及び物理特性などに基づいて、実際に接触があったとした場合の押圧力を計算し、その計算結果に基づいて動力発生部211のPWMデータ (例えば、モータ211aを回転させるための励磁パターンを示すデータ) に変換する。

**【0047】**

この場合、前記仮想空間 (3次元空間) において、予め、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸、すなわちX-Y-Z座標 (3次元座標) が想定されており、前記物体の座標 (位置情報) と、前記ユーザの指先の座標 (位置情報) との一致を検出し、その一致が検出されると、物体の前記座標に相当する部位とユーザの指先の前記座標に相当する部位とが接触したと判別する。ユーザの指先の座標は、後述する位置姿勢検出部23から信号送受信部26を介して情報処理装置8に送信される信号 (情報) に基づいて導出される。

## 【0048】

次いで、情報処理装置 8 は、導出した PWM データと、実際に接触があったとした場合の接触位置に押圧力を与える接触板 214a を動作させる動力発生部 211 を特定（指定）するためのデータとを、リアルグローブ 20 に送信する。リアルグローブ 20 は、受信した PWM データに応じて、指定された動力発生部 211 を駆動し、アクチュエータワイヤ 212 を巻き取る。

アクチュエータワイヤ 212 が巻き取られると、指腹に配されているアクチュエータワイヤ 212 が指腹に沿って指の先端方向に向けて移動し、図 4（B）に示すように、アクチュエータワイヤ 212 に取付固定されている触覚提示ピン 214 も、指腹に沿って指の先端方向に向けて移動する。

## 【0049】

この際、図 4（C）に示すように、触覚提示ピン 214 は、触覚提示ピン支持部 215 によって指の先端方向への移動が制限されるとともに、触覚提示ピン支持部 215 にガイドされて、図 4（C）中上側へ移動する（指腹に向って突出する）。すなわち、触覚提示ピン 214 の接触板 214a が指腹の表面に対しほぼ垂直上方に移動する。触覚提示ピン 214 の支持部 214b は、待機時には（初期状態では）、図 4（B）に示すように、垂直方向から指の先端方向に傾斜しており、前記接触板 214a がほぼ垂直上方に移動しようとする力が働くことで、その接触板 214a が指腹をほぼ垂直方向へ押圧し、これにより、ユーザの手の指腹に押圧力を与える。

## 【0050】

この動作が、複数の単位触覚発生部 210 のうちの指定された単位触覚発生部 210 でなされ、これにより、ユーザの手の指腹に触覚が提示される（与えられる）。よって、ユーザは、仮想空間画像における指腹の物体（対象物）への接触到相当する感覚を、指腹に得ることができる。

前記指定された単位触覚発生部 210 において、動力発生部 211 のモータ 211a の駆動が停止し、アクチュエータワイヤ 212 の巻き取り状態が解除されると、ワイヤ保持部 213 が復元力（弾性力）によって収縮し、これにより、巻き取られていたアクチュエータワイヤ 212 が引き出される。

## 【0051】

アクチュエータワイヤ212が引き出されると、指腹に配されているアクチュエータワイヤ212が指腹に沿って指の基端方向（図4（C）中右側）に向けて移動し、アクチュエータワイヤ212に取付固定されている触覚提示ピン214も、指腹に沿って指の基端方向に向けて移動し、触覚提示ピン214は、図4（B）に示す初期状態に戻る。これにより、触覚提示ピン214からユーザの手の指腹に与えられていた押圧力が実質的に消滅する。

## 【0052】

このような触覚発生部21によれば、指腹に対してほぼ平行に（指腹に沿って）アクチュエータワイヤ212を配置し、そのアクチュエータワイヤ212を巻き取ることによって指腹に対してほぼ垂直な力を与えるようになっているので、触覚を与えるための機構を薄くすることができ、これにより、リアルグローブ20の指腹側の厚みを極力抑えることができる。

また、アクチュエータワイヤ212の弛みを防止することができ、触覚提示ピン214からユーザの指腹に、より正確かつ確実に目標の大きさの押圧力を与えることができる。

## 【0053】

図5及び図6は、それぞれ、力覚発生部22の構成例を示す外観図である。なお、図5は、フレームカバーが取り外された状態を示す。

図5に示すように、力覚発生部22は、リアルグローブ20を装着したときのユーザの各指の背側に設けられている。なお、力覚発生部22の構成及び作用は、ほぼ同様であるので、以下、代表的に、そのうちの1つについて説明する。

力覚発生部22は、回動可能に連結された複数（本実施形態では6つ）のフレーム221を備えたリンク機構と、各フレーム221を回動させる複数（本実施形態では7つ）のリンクモータ（駆動源）222と、手袋2aに設けられた複数（本実施形態では4つ）のフレームホルダ2bとを有している。

## 【0054】

前記フレームホルダ2bは、ユーザがリアルグローブ20を装着したとき、ユーザの指の第1関節より先端側に位置する装着部と、第1関節と第2関節（中節

骨と基節骨との間の関節）との間に位置する装着部と、第 2 関節と第 3 関節との間に位置する装着部と、第 3 関節（基節骨と中手骨との間の関節）より基端側に位置する装着部とに、それぞれ、設けられている。

リンク機構は、前記フレームホルダ 2 b によって、手袋 2 a の、リアルグローブ 2 0 を装着したときのユーザの指の背側に取り付けられている。

#### 【0 0 5 5】

すなわち、リンク機構の先端側（図 5 中右側）の端部のフレーム 2 2 1 は、ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着したときに、ユーザの指の第 1 関節より先端側の部位にその端部が位置するように配置され、このフレーム 2 2 1 の先端部は、フレームホルダ 2 b に対し、回動可能に設置されている。

また、リンク機構の基端側（図 5 中左側）の端部のフレーム 2 2 1 は、ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着したときに、ユーザの指の第 3 関節より基端側の部位にその端部が位置するように配置され、このフレーム 2 2 1 の基端部は、フレームホルダ 2 b に対し、回動可能に設置されている。

#### 【0 0 5 6】

また、リンク機構の残りの各フレーム 2 2 1 は、ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着したときに、ユーザの指の第 1 関節と第 2 関節との間の部位と、第 2 関節と第 3 関節との間の部位とに、フレーム連結部が 1 つおきに位置するように配置され、この 1 つおきのフレーム連結部において、フレームホルダ 2 b に対し、回動可能に設置されている。

#### 【0 0 5 7】

各リンクモータ 2 2 2 の駆動力（回転力）は、それぞれ、図示しない動力伝達部を介して、対応するフレーム 2 2 1 に伝達される。すなわち、リンクモータ 2 2 2 が所定方向に回転駆動すると、対応するフレーム 2 2 1 は、所定方向に回動し、これにより、フレーム 2 2 1 の角度が変更（調整）される。

なお、図 5 には、前述したアクチュエータワイヤ 2 1 2 の束 2 1 2 a が示されている。

#### 【0 0 5 8】

力覚発生部 2 2 の各フレーム 2 2 1 や各リンクモータ 2 2 2 は、それぞれ、図

6 に示すように、例えば布製のフレームカバー 2 c の中に収納されている。

また、図 6 に示すように、フレームカバー 2 c の内側には、手や指の所定の部位の位置及び姿勢を検出する複数（本実施形態では 4 つ）の位置姿勢検出部（位置検出手段）2 3 が設置されている。各位置姿勢検出部 2 3 は、それぞれ、位置及び姿勢を検出する部位（検出位置）の近傍、すなわち、指の関節の近傍に対応する部位に、前記検出位置に対して一定の位置関係を保持し得るように設けられている。

#### 【0 0 5 9】

すなわち、各位置姿勢検出部 2 3 は、それぞれ、本実施形態では、フレームホルダ 2 b が設けられている位置に固定されている各リンクモータ 2 2 2 に取付固定されている。従って、各位置姿勢検出部 2 3 が設けられている部位と、ユーザの手のひら側の所定の部位（検出位置）との位置関係は、一定に保たれる。よって、位置姿勢検出部 2 3 が自己の位置や姿勢を検出することによって、ユーザの手の平側の所定の部位の位置や姿勢を容易かつ正確に導出することができる。

また、各位置姿勢検出部 2 3 は、それぞれ、手の甲側に配置されているので、リアルグローブ 2 0 の指腹側の厚みを極力抑えることができる。

#### 【0 0 6 0】

また、図 3 に示すように、位置姿勢検出部 2 3 は、ユーザがリアルグローブ 2 0 を装着したとき、リアルグローブ 2 0 の腕の基端側の部位に相当する位置にも設置されている。

これら位置姿勢検出部 2 3 により、リアルグローブ 2 0 を装着した各指、手、手首、腕などの各部の位置及び姿勢を確実に把握することができる。

#### 【0 0 6 1】

なお、上述のような位置姿勢検出部 2 3 の代わりに、図示していないが、各指のリンク機構に配置される各リンクモータ 2 2 2 にエンコーダを接続し、リンクモータ 2 2 2 と動力伝達部の間には、ワンウェイクラッチ及びこのワンウェイクラッチを作動／不作動制御するクラッチ機構が挿入されていてもよい。

この場合、リンクモータ 2 2 2 の回転角度とジョイント部（節）の回転角度が一致しているので、リンク機構の各ジョイント部の角度が検出でき、各リンクモ

ータ 222 のジョイント回転角度に基づいて、手の甲からの相対的な指の位置を特定することができる。

#### 【0062】

次に、力覚発生部 22 による力覚発生動作について説明する。

ユーザがリアルグローブ 20 を装着し、手や指を動かすことによって仮想空間に現されている物体（仮想物体）、すなわち対象物に、その手や指が仮想的に接触すると、情報処理装置 8 は、後述する演算処理部 81 によって、対象物の物性データ及び物理特性などに基づいて、実際に接触があった場合の前記物体から指（指の各関節）への反力を計算し、その計算結果に基づいて各リンクモータ 222 の PWM データ（例えば、リンクモータ 222 を回転させるための励磁パターンを示すデータ）に変換する。

ここで、前記物体とユーザの手や指との接触の判別は、前記触覚発生部 21 の場合と同様である。

#### 【0063】

情報処理装置 8 は、導出した各 PWM データと、駆動させる各リンクモータ 222 を示すデータとをリアルグローブ 20 に送信する。リアルグローブ 20 は、受信したデータに応じて、指定された各リンクモータ 222 を所定方向に回転駆動し、対応する各フレーム 221 を所定方向に回動させ、各フレーム 221 の角度を調整、すなわち、リンク機構の両端部のフレーム 221 の角度及び各フレーム連結部の角度をそれぞれ調整する。

このフレーム 221 の角度調整により、所定のフレームホルダ 2b にそれぞれ所定の大きさの力が加わり、これにより、前記仮想空間に現されている物体からの反力に対応する力がユーザの指の各関節に与えられる。すなわち、指の各関節に対して力覚が提示される（与えられる）。

#### 【0064】

ここで、この力覚発生部 22 は、指の複数の部位に装着する複数の装着部間の間隔を調節する機能を有している（調節手段を兼ねている）。

例えば、図 5 に示すように、所定のフレーム 221 を回動させ、フレーム 221 の角度を調整することにより、各フレームホルダ 2b 間の間隔を長くしたり、

又は、短くしたりすることができる。

#### 【0065】

また、ワンウェイクラッチ及びクラッチ機構が取り付けられている場合において、情報処理装置 8 で算出された反力が所定の閾値よりも大きいときには、クラッチ機構のコイルが通電され、ワンウェイクラッチが所定方向への回転をロックするようにクラッチ機構がオンする。これにより、ユーザは、その位置よりもロックされた所定方向へ指を移動することができず、大きな反力（ここでは、ユーザが対象物を押したときの力そのもの）を得ることができる。すなわち、ワンウェイクラッチ及びクラッチ機構によって、力覚発生部 22 は、大きな反力を表現することができる。

#### 【0066】

図 7 は、位置姿勢検出部 23 の構成例を示すブロック図である。位置姿勢検出部 23 には、本実施形態では、直交コイル式（直交コイル型）の位置センサ（位置検出手段）が用いられる。すなわち、位置姿勢検出部 23 は、図 7 に示すように、中心軸が互いに直交する X 方向検出コイル（第 1 のコイル）231 と、Y 方向検出コイル（第 2 のコイル）232 と、Z 方向検出コイル（第 3 のコイル）233 とで構成される。なお、X 方向（X 軸方向）と、Y 方向（Y 軸方向）と、Z 方向（Z 軸方向）とは、互いに直交している。

一方、情報処理装置 8 には、磁界を発生する後述する磁界発生部 88 が設けられている。この磁界発生部 88 には、例えば、前記位置姿勢検出部 23 とほぼ同じ構成のもの、すなわち、直交コイル式（直交コイル型）の磁界発生器（X 方向コイル、Y 方向コイル、Z 方向コイル）が用いられる。

#### 【0067】

この磁界発生部 88 で発生した磁界は、位置姿勢検出部 23 で検出される。この場合、磁界発生部 88 の X 方向コイル、Y 方向コイル及び Z 方向コイルから、順次、磁界を発生し、それぞれを、位置姿勢検出部 23 の X 方向検出コイル 231、Y 方向検出コイル 232 及び Z 方向検出コイル 233 の 3 つのコイルで検出する。

#### 【0068】

位置姿勢検出部 23 によって X Y Z 各方向について検出された各信号（検出データ）は、それぞれ、信号処理部 25 の増幅部 251 において増幅され、A/D 変換部 252 においてデジタル信号に変換された後、図 2 に示す信号送受信部 26 に出力され、この信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信される。

情報処理装置 8 では、リアルグローブ 20 から送信された信号を受信し、その信号（情報）に基づいて、リアルグローブ 20 を装着した各指、手、手首、腕などの各部の位置及び姿勢、すなわち、前記各部の座標を導出し、その情報を所定の各処理において利用する。

このように、位置姿勢検出部 23 を設けることにより、リアルグローブ 20 を装着した各指、手、手首、腕などの各部の位置及び姿勢を正確かつ確実に求めることができる。

#### 【0069】

仮想空間表示装置 5 には、この実施形態では、顔面に装着して使用する形態のもの、すなわち、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）と呼ばれる眼鏡状の装置が用いられる。図 8 は、仮想空間表示装置 5 の外観構成例を示す斜視図、図 9 は、仮想空間表示装置 5 の回路構成例を示すブロック図である。

仮想空間表示装置 5 は、装着者（ユーザ）に対して仮想空間画像を表示する画像表示部 51a、51b と、装着者の視線を検出する視線検出部 52a、52b と、周囲を撮像し、その周囲の画像（映像）を取り込む凹凸入力部 53a、53b と、装置全体の制御を行う制御部 54 と、情報処理装置 8 と信号を送受信する信号送受信部 55 と、位置姿勢検出部 56 と、装着部 57 と、信号処理部 58 とを備えている。以下、左右対称の構成要素については、いずれかのみを代表して説明する。

#### 【0070】

図 10 は、仮想空間表示装置 5 の凹凸入力部 53a の構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。この図 10 に示すように、凹凸入力部 53a は、レンズ 531 と、CCD（撮像素子）532 と、CCD 制御部 533 と、CCD 出力増幅部 534 とを有している。

レンズ 531 に入射した光（光束）は、そのレンズ 531 により、CCD 53



2の受光面（撮像面）上に導かれて結像し、その被写体像（周囲の像）は、CCD532により撮像される。このCCD532の駆動は、CCD制御部533により制御される。

#### 【0071】

CCD532から出力された信号は、CCD出力増幅部534で増幅され、その後、凹凸入力部53aから出力され、図9に示す信号処理部58に入力される。そして、信号処理部58において所定の信号処理がなされ、信号送受信部55を介して情報処理装置8に送信される。

なお、凹凸入力部53bの構成及び作用は、前記凹凸入力部53aと同様であるので、その説明は、省略するが、この凹凸入力部53bと、前記凹凸入力部53aとでは、略同じ領域が撮像される。

#### 【0072】

図11は、仮想空間表示装置5の画像表示部51aの構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。この図11に示すように、画像表示部51aは、レンズ511と、レンズ511を移動させるレンズ移動機構512と、ステッピングモータ513と、モータ制御部514と、図示しないカラーフィルタを備えた液晶表示パネル515と、液晶駆動部516と、バックライト517と、バックライト制御部518と、トランジスタ519とを有している。

画像表示部51aにおいて仮想空間画像を表示する際は、バックライト制御部518の制御により、トランジスタ519がオンし、バックライト517が駆動し、バックライト517から液晶表示パネル515へ光が照射される。

#### 【0073】

そして、液晶駆動部516は、制御部54から入力される表示信号（画像データ）に基づいて、液晶表示パネル515の駆動を制御し、これにより、液晶表示パネル515に仮想空間画像が表示される。

装着者（ユーザ）は、レンズ511及び後述する視線検出部52aのハーフミラー521を介し、この液晶表示パネル515に表示された仮想空間画像を視認することができる。

#### 【0074】

ステッピングモータ 513 の駆動は、モータ制御部 514 により制御され、そのステッピングモータ 513 が所定方向に回転すると、レンズ移動機構 512 により、レンズ 511 は、液晶表示パネル 515 に接近する方向、すなわち、装着者の目から離間する方向へ移動する。

一方、ステッピングモータ 513 が前記と逆方向に回転すると、レンズ移動機構 512 により、レンズ 511 は、液晶表示パネル 515 から離間する方向、すなわち、装着者の目に接近する方向へ移動する。

#### 【0075】

仮想空間表示装置 5 では、このレンズ 511 の位置の変更により、前記仮想空間画像の遠近を変更することができる。

このレンズ 511 の位置の調整、すなわち、前記仮想空間画像の遠近の調整は、後述する視線検出部 52a、52b で検出される装着者の視線の情報に基づいてなされる。

#### 【0076】

なお、画像表示部 51b の構成及び作用は、前記画像表示部 51a と同様であるので、その説明は、省略する。

視線検出部 52a、52b は、装着者の視線がどの方向にあるか（仮想空間画像のどこに焦点を合わせようとしているか）を検出する機能と、セキュリティ情報として利用するための装着者の眼の虹彩パターンを読み取る機能とを有している。

#### 【0077】

図 12 は、仮想空間表示装置 5 の視線検出部 52a の構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。この図 12 に示すように、視線検出部 52a は、ハーフミラー 521 と、可視光を除去し、赤外光を透過させるフィルタ 522 と、レンズ 523 と、CCD（撮像素子）524 と、CCD 制御部 525 と、CCD 出力増幅部 526 と、赤外光を発する LED（発光ダイオード）527 と、LED 制御部 528 と、トランジスタ 529 とを有している。

#### 【0078】

LED 527 の駆動は、LED 制御部 528 により制御され、その LED 制御

部 5 2 8 の制御によりトランジスタ 5 2 9 がオンすると、LED 5 2 7 が駆動し、LED 5 2 7 から赤外光が発せられる。

LED 5 2 7 から発せられた赤外光は、フィルタ 5 2 2 を透過し、ハーフミラー 5 2 1 でその一部が反射して、装着者の目に照射される。

#### 【0079】

そして、装着者の目からの反射光（光束）は、ハーフミラー 5 2 1 でその一部が反射して、フィルタ 5 2 2 を透過し、レンズ 5 2 3 により、CCD 5 2 4 の受光面（撮像面）上に導かれて結像し、その被写体像（装着者の目の像）は、CCD 5 2 4 により撮像される。この CCD 5 2 4 の駆動は、CCD 制御部 5 2 5 により制御される。

#### 【0080】

CCD 5 2 4 から出力された信号は、CCD 出力増幅部 5 2 6 で増幅され、その後、視線検出部 5 2 a から出力され、図 9 に示す信号処理部 5 8 に入力される。そして、信号処理部 5 8 において所定の信号処理がなされ、信号送受信部 5 5 を介して情報処理装置 8 に送信される。

情報処理装置 8 では、仮想空間表示装置 5 からの信号を受信し、その信号（情報）に基づいて、装着者の視線がどの方向にあるか（仮想空間画像のどこに焦点を合わせようとしているか）を検出するとともに、装着者の眼の虹彩パターンを読み取り、解析し、セキュリティ情報として利用する。

#### 【0081】

一方、レンズ 5 2 3 側からフィルタ 5 2 2 へ入射する可視光は、フィルタ 5 2 2 で除去され、その可視光が装着者の目に照射されてしまうのを阻止することができる。これにより、液晶表示パネル 5 1 5 に表示された仮想空間画像の視認性の低下を防止することができる。

#### 【0082】

なお、視線検出部 5 2 b の構成及び作用は、前記視線検出部 5 2 a と同様であるので、その説明は、省略する。

この仮想空間表示装置 5 は、2 台の画像取込装置、すなわち、前記凹凸入力部 5 3 a、5 3 b によって周囲の画像を撮像して取り込み、信号送受信部 5 5 を介

して情報処理装置 8 に対して撮像した画像データ（映像データ）を送信する。

#### 【0083】

情報処理装置 8 は、凹凸入力部 53 a、53 b において撮像された画像、すなわち撮像された画像データから視角差を導出し、その視角差等から得られる周囲の凹凸に基づいて、仮想空間画像、すなわち仮想空間の画像データを作成する。そして、情報処理装置 8 は、作成した仮想空間の画像（映像）と、例えば、仮想壁紙や仮想パーソナルコンピュータや仮想本などの所定の仮想物体を周囲の凹凸に合わせて仮想空間に配置するための画像とを合成した合成画像（合成映像）を示す画像データ（映像データ）を仮想空間表示装置 5 に送信する。

#### 【0084】

仮想空間表示装置 5 は、情報処理装置 8 からの画像データに基づいて、その画像を画像表示部 51 a、51 b を用いて表示する。

また、仮想空間表示装置 5 は、装着されているリアルグローブ 20、すなわち、ユーザの手や腕が画像表示部 51 a、51 b により表示されている画像の領域内に入っている場合には、その手や腕に対応する画像も、画像表示部 51 a、51 b に表示する。

#### 【0085】

この場合、前述したように、リアルグローブ 20 に設けられている複数の位置姿勢検出部 23 の検出データが情報処理装置 8 に送信されることによって、リアルグローブ 20 の位置及び姿勢、すなわち、ユーザの各指、手、手首、腕等の位置及び姿勢は、情報処理装置 8 において認識される。すなわち、情報処理装置 8 は、逐一、リアルグローブ 20 からの前記検出データに基づいて、ユーザの各指、手、手首、腕等の位置及び姿勢を特定し、それらが画像表示部 51 a、51 b により表示されている画像の領域内に入っている場合には、それらを示す仮想空間画像を作成し、その画像を基礎の画像に合成して、合成画像（合成画像の画像データ）を得、その画像データを仮想空間表示装置 5 に送信する。

#### 【0086】

従って、ユーザの手や腕が画像表示部 51 a、51 b により表示されている画像の領域内に入っている場合には、その手や腕に対応する画像が、画像表示部 5

1 a、5 1 bに表示される。

そして、仮想空間表示装置 5 では、リアルグローブ 2 0 を装着したユーザの手や指の実際の動作に連動して、画像表示部 5 1 a、5 1 bに表示されている仮想空間画像においてそのユーザの手や指が動くように描写される。

#### 【0087】

位置姿勢検出部 5 6 は、仮想空間表示装置 5 の位置及び姿勢、すなわち、装着者の顔面（頭部）の位置及び姿勢を検出するためのセンサである。この位置姿勢検出部 5 6 には、本実施形態では、直交コイル式の位置センサ、すなわち、前記位置姿勢検出部 2 3 と同様のものが用いられる。

位置姿勢検出部 5 6 からの信号（検出データ）は、信号処理部 5 8 に入力され、所定の信号処理がなされ、信号送受信部 5 5 を介して逐一情報処理装置 8 に送信される。情報処理装置 8 は、この検出データに基づいて、逐一仮想空間画像を更新する。

従って、例えば仮想空間表示装置 5 を装着したユーザが首を動かした場合には、画像表示部 5 1 a、5 1 bに表示される仮想空間画像は、ユーザが向いている方向に合致した画像となるように変化する。

#### 【0088】

三次元加速度センサ 5 9 は、仮想空間表示装置 5 の略直交する三方向への加速度を検出するものである。三次元加速度センサ 5 9 は、HMD に内蔵可能なものであって、ある程度の精度を有するものであれば、圧電型でも、サーボ型でも、ひずみゲージ型などのいずれでもよい。しかしながら、本発明では、CMOS を用いた半導体加速度センサのように、より高精度な加速度センサが適する。

この三次元加速度センサ 5 9 で検出された信号（加速度データ）は、信号処理部 5 8 に出力され、増幅などの所定の信号処理がなされた後、信号送受信部 5 5 を介して情報処理装置 8 に送信される。

#### 【0089】

図 1 3 は、図 1 に示す情報処理装置 8 の回路構成例を示すブロック図である。この図 1 3 において、情報処理装置 8 は、演算処理部（演算手段）8 1 と、衝突判定部（衝突判定手段）8 2 と、画像生成部（画像生成手段）8 3 と、制御部（

制御手段) 84 と、記憶部 (記憶手段) 85 と、信号処理部 86 と、信号送受信部 (通信手段) 87 と、磁界発生部 88 とを備えている。

#### 【0090】

演算処理部 81 は、上述のリアルグローブ 20 の指や手が仮想空間内の対象物に接触した場合には (後述する衝突判定部 82 により判定される)、後述する記憶部 85 に格納されている物性データ及び状態量などに基づいて、その対象物がどのようなものであるかを判断して、その対象物から指 (指の各関節) への反力を演算し、その演算結果からリアルグローブ 20 の各リンクモータ 222 の PWM データに変換し、その変換データを信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介してリアルグローブ 20 に送信する。

#### 【0091】

また、演算処理部 81 は、リアルグローブ 20 にワンウェイクラッチ及びクラッチ機構が適用されている場合、上記で演算した反力が所定の閾値よりも大きいか否かを判定し (判定手段)、その判定結果に基づいて、クラッチ機構へ動作信号を送信するか、各リンクモータ 222 へ PWM データの信号を送信するかを決定する。

#### 【0092】

さらに、演算処理部 81 は、後述する画像補正処理において、基準姿勢における 2 本の指先 (例えば、親指と人差し指) の位置情報とその 2 本の指先が接触している状態における 2 本の指先の位置情報 (以下、「実摘み位置」ともいう) とに基づいて、仮想空間画像に取り込まれた指先の位置を補正するための変換則を決定する。演算処理部 81 は、例えば、第 5 実施形態の構成では、各ジョイント部 205 の角度のずれ量を演算することにより、画像補正のための変換則を決定する。

#### 【0093】

衝突判定部 82 は、リアルグローブ 20 の各指が仮想空間内の仮想の対象物と衝突したか否かを判定するものである。衝突判定部 82 によって判定された判定結果は、制御部 84 に出力される。

画像生成部 83 は、制御部 84 の指示により、予め基地局 9 から受信した仮想

空間画像、あるいは仮想空間表示装置 5 の凹凸入力部 53 a、53 b によって撮像され、その撮像画像から変換された仮想空間画像に、ユーザの腕や指などの映像を重ね合わせて、合成された仮想空間画像を生成し、その仮想空間画像のデータを信号処理部 86 に出力する。また、画像生成部 83 は、仮想空間中に表示されるリアルグローブ 20 又は仮想空間表示装置 5 の移動にともない、所定の時間間隔で仮想空間画像を更新して生成し、それを信号処理部 86 に出力する。

#### 【0094】

制御部 84 は、図示しない CPU などから構成され、衝突判定部 82 の判定結果に基づいて、演算処理部 81 に上述の反力を演算させる。また、制御部 84 は、上述の演算処理部 81、衝突判定部 82、及び画像生成部 83 の動作を制御し、その演算結果、衝突判定結果、及び生成画像データなどを記憶部 85 の所定の格納領域に保存するとともに、信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して、対応する装置にそれらのデータを送信する。

#### 【0095】

記憶部 85 は、プログラムやデータ等が予め記憶されている、図示しないコンピュータに読み取り可能な記憶媒体を有しており、この記憶媒体は、例えば、RAM (Random Access Memory: 揮発性、不揮発性のいずれをも含む)、FD (Floppy Disk (Floppy は登録商標))、HD (Hard Disk)、CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory) 等のような、磁氣的、光学的記録媒体、もしくは半導体メモリで構成されている。この記憶媒体は、記憶部 85 に固定的に設けたもの、もしくは着脱自在に装着するものであり、この記憶媒体には、上記仮想空間表示装置 5、情報処理装置 8、及び力覚提示装置 2 に対応する各種アプリケーションプログラム、表示画像変更処理プログラム、表示画像合成処理プログラム、及び各処理プログラムで処理されたデータ、文書データ等が記憶される。

#### 【0096】

また、この記憶媒体に記憶するプログラム、データ等は、その一部もしくは全部をサーバやクライアント (本実施の形態では、基地局 9 など) 等の他の機器からネットワーク回線 (例えば、インターネット、電話回線など) 等の伝送媒体を介して信号送受信部 87 から受信して記憶する構成にしてもよく、さらに、記憶

媒体はネットワーク上に構築された基地局 9 のサーバの記憶媒体であってもよい。さらに、前記プログラムをネットワーク回線等の伝送媒体を介してサーバやクライアントから伝送して情報処理装置 8 にインストールするように構成してもよい。また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよい。

#### 【0097】

信号処理部 86 は、仮想空間表示装置 5 や力覚提示装置 2 に送信する画像データや制御信号などの増幅等の信号処理を行う。信号送受信部 87 は、信号処理部 86 において処理された各種信号やデータを仮想空間表示装置 5 や力覚提示装置 2 などの外部機器との通信を行うための制御を行う。

磁界発生部 88 は、詳細は図示されていないが、例えば、図 7 の位置姿勢検出部 23 に対応する直交コイル式（直交コイル型）の磁界発生器（X 方向コイル、Y 方向コイル、Z 方向コイル）である。この磁界発生部 88 は、制御部 84 からの指示により、X、Y、Z 方向コイルの順で磁界を発生し、リアルグローブ 20 の位置姿勢検出部 23 の各方向の検出コイル 231、232 及び 233 に発生した磁界を検出させるとともに、仮想空間表示装置 5 の位置姿勢検出部 56 にも磁界を検出させる。

#### 【0098】

なお、この磁界発生部 88 は、図示のように情報処理装置 8 に格納されてもよいが、磁界発生装置として情報処理装置 8 とは別構成としてもよい。特に、情報処理装置 8 として携帯電話機や PDA を用いるときは、その内部に磁界発生部を後から設けることができないので、別構成とすることが有用である。このように別に磁界発生装置（又は磁界発生部）を設けたとしても、その制御は、情報処理装置 8 からの制御信号によってなされ得る。

#### 【0099】

次に、第 1 実施形態における力覚提示システム 1 の動作（作用）について説明する。ここでは、ユーザが、力覚提示システム 1 を利用して、仮想空間に現れている仮想パーソナルコンピュータの操作を行う場合を例に説明する。



ユーザは、各部の電源を入れ、リアルグローブ 2 0 を両手にそれぞれ装着し、眼鏡状の仮想空間表示装置 5 をかける（顔面に装着する）。すると、仮想空間表示装置 5 の画像表示部 5 1 a、5 1 b に、仮想パーソナルコンピュータを含む仮想空間画像が表示される。

#### 【0 1 0 0】

また、ユーザの腕が画像表示部 5 1 a、5 1 b で表示されている仮想空間画像内に入るようにすれば、情報処理装置 8 の画像生成部 8 3 において作成されたその手や腕の画像が仮想空間画像に仮想物体として表示される。そして、ユーザが手や指を動かした場合には、その実際の手や指の動きに連動して、仮想空間画像において、表示されている手や指が動く。

情報処理装置 8 は、衝突判定部 8 2 によって、仮想空間画像における対象物、すなわち本実施形態では、例えば、仮想パーソナルコンピュータの一部（例えばキーボード）と、ユーザの指の一部が同一座標となったことを検出すると、演算処理部 8 1 の演算結果に基づいて、リアルグローブ 2 0 に対して、触覚及び力覚を発生させるための指示を行う。具体的には、情報処理装置 8 は、演算処理部 8 1 が演算した反力の演算結果から得た、駆動させる動力発生部 2 1 1 及びその駆動に用いる PWM データや、駆動させるリンクモータ 2 2 2 及びその駆動に用いる PWM データなどを、信号送受信部 8 7 を介してリアルグローブ 2 0 に送信する。

#### 【0 1 0 1】

リアルグローブ 2 0 は、情報処理装置 8 からの指示に従って、指定された各動力発生部 2 1 1 を、それぞれ、指定されたトルクで指定された時間だけ PWM 制御により駆動する。これにより、仮想パーソナルコンピュータの一部と同一座標となった部分に配置されている各触覚提示ピン 2 1 4 の接触板 2 1 4 a が突出し、仮想パーソナルコンピュータの一部と同一座標となったユーザの各指先に対して触覚が与えられる。すなわち、各指先に、接触感覚、質感、形状、強さ等の感覚が与えられる。

#### 【0 1 0 2】

同時に、リアルグローブ 2 0 は、情報処理装置 8 からの指示に従って、指定さ

れた各リンクモータ 222 を、それぞれ、指定されたトルクで指定された時間だけ PWM 制御により駆動する。これにより、実在するパーソナルコンピュータの例えばキーボードに触れているときに各指の各関節に与えられる力覚、すなわち、前記各指の各関節に与えられる押圧力（反力）に相当する力がユーザの各指の各関節に対して与えられる。

また、ユーザが、さらに仮想パーソナルコンピュータのキーを押し込む方向に指を動かすと、指の座標変化に合わせて、画像表示部 51a、51b に、キーを押し込む様子を示す仮想空間画像が表示される。

#### 【0103】

この場合、情報処理装置 8 は、押下されたキーに基づく表示状態の変化を仮想空間画像で再現するための仮想空間画像の画像データを画像生成部 83 において生成し、信号送受信部 87 を介してそれを仮想空間表示装置 5 に送信する処理を行い、仮想空間表示装置 5 は、前記情報処理装置 8 から受信した仮想空間画像の画像データに基づいて、仮想パーソナルコンピュータのディスプレイにキーの押下が反映された表示がなされる画像を表示する。

#### 【0104】

以上説明したように、この力覚提示装置 2 及び力覚提示システム 1 によれば、リアルグローブ 20 の装着及び取り外しを容易かつ確実に行うことができるとともに、ユーザの手及び各指の所定の部位の仮想空間における位置及び姿勢を正確かつ確実に求めることができる。

また、この力覚提示装置 2 及び力覚提示システム 1 によれば、仮想空間画像に応じて、ユーザの各指に対して力覚及び触覚をそれぞれ正確かつ確実に提示することができる。

これにより、ユーザは、快適に、そして、容易かつ確実に、仮想空間における動作（操作）を行うことができる。

#### 【0105】

また、触覚発生部 21 において、アクチュエータワイヤ 212 の弛みを防止することができ、各触覚提示ピン 214 からそれぞれユーザの各指腹に、より正確かつ確実に目標の大ききの押圧力を与えることができる。

これにより、ユーザは、仮想空間画像における各指腹の物体（対象物）への接触に相当する感覚を、より正確かつ確実に各指腹で感じることができる。

#### 【0106】

さらに、触覚発生部 21 では、各指腹に対してほぼ平行に（指腹に沿って）アクチュエータワイヤ 212 が配置され、そのアクチュエータワイヤ 212 を巻き取ることによって各指腹に対してほぼ垂直な力を与えるようになっているので、触覚を与えるための機構を薄くすることができ、これにより、リアルグローブ 20 の指腹側の厚みを極力抑えることができる。

#### 【0107】

また、力覚発生部 22 はリンク機構を有しているので、指を伸ばしている状態、指を曲げている状態のいずれにおいても対応することができ、これにより、より確実に、各指に対して力覚を与えることができる。

また、リアルグローブ 20 は、手袋 2a を有しているので、そのリアルグローブ 20 の装着及び取り外しを容易かつ確実に行うことができ、また、仮想空間における動作（操作）を容易かつ確実に行うことができる。

#### 【0108】

なお、上述した実施形態では、使用例として仮想空間画像に表示されているパーソナルコンピュータを仮想的に操作する場合について説明したが、本発明では、これに限らず、例えば、仮想本などの他の物品を取扱うために使用することもできる。仮想本を取扱う場合には、例えば、仮想本の縁をさわったりページをめくったりするときに、実際の本の縁をさわったりページをめくったりするときに指に加わる触感や力感を感じることができる。

また、本発明では、仮想空間画像が表示されなくてもよい。すなわち、仮想空間画像に対応した所定のデータがあり、そのデータに基づいて、指に対して触覚や力覚を提示するよう構成されていてもよい。

#### 【0109】

次に、本発明の力覚提示装置及び画像処理装置の第 2 実施形態について説明する。図 14 は、第 2 実施形態における力覚提示装置の触覚発生部の構成例を示す縦断面図である。

以下、第2実施形態の力覚提示装置2について、前述した第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

#### 【0110】

図14 (A) に示すように、第2実施形態の力覚提示装置2では、その触覚発生部21の各単位触覚発生部（アクチュエータ）210は、それぞれ、モータ（駆動源）211aを備える動力発生部（移動手段）211と、長手方向に移動可能に設置されたアクチュエータワイヤ（可撓性を有する線状体）212と、触覚を発生させるために指腹を押圧する触覚提示部216とを有している。

触覚提示部216は、ユーザの指腹に接触感覚（接触の有無や強さ等）を与えるために用いられ、例えば、板バネのような弾性を有する部材（弾性体）で形成される。この場合、触覚提示部216は、適度な剛性を有するのが好ましく、例えば、各種金属で構成された弾性体で形成することができる。

#### 【0111】

この触覚提示部216は、第1の板片（押圧部）216aと、第2の板片（スライド部）216bとで構成されている。第1の板片216aと第2の板片216bとは、一端側において接合されており、第1の板片216aの他端側には、指腹に接触する部分である微小な接触部216cが設けられている。この接触部216cは、例えば、第1の板片216aの端部を第2の板片216b側に向けて屈曲させることによって形成することができる。

また、触覚提示部216の前記一端側、すなわち、図14 (A) 中左側の端部は、図14 (A) 中下側に凸となるように湾曲している。

#### 【0112】

第1の板片216aと第2の板片216bとの間には、第1の板片216aの移動方向を規制する円柱状のガイド部（移動方向規制手段）217が設置されている。

また、触覚提示部216の図14 (A) 中下側には、押え板218が設置されており、触覚提示部216は、この押え板218に沿って移動（スライド）し得るようになっている。この場合、触覚提示部216は、その図14 (A) 中左側の端部が湾曲しているので、円滑かつ確実に移動することができる。

## 【0113】

前記ガイド部 217 は、押え板 218 に固定され、押え板 218 は、手袋 2a に固定されている。すなわち、ガイド部 217 及び押え板 218 は、共に、手袋 2a に対して固定的に設置されている。

また、触覚提示部 216 の第 2 の板片 216b の図 14 (A) 中右側における端部には、アクチュエータワイヤ 212 の一端が固定されている。

## 【0114】

動力発生部 211 のモータ 211a の駆動によりアクチュエータワイヤ 212 が巻き取られると、そのアクチュエータワイヤ 212 は、指腹に沿って図 14 (A) 中右側 (指の基端方向) に移動し、これとともにアクチュエータワイヤ 212 に取付固定されている触覚提示部 216 も指腹に沿って図 14 (A) 中右側に移動する。

## 【0115】

この際、図 14 (B) に示すように、触覚提示部 216 の第 1 の板片 216a は、ガイド部 217 によって図 14 (B) 中右側への移動が制限されるとともに、ガイド部 217 にガイドされて、図 14 (B) 中上側へ移動する (指腹に向かって突出する)。すなわち、触覚提示部 216 が弾性変形し、その第 1 の板片 216a の姿勢が図 14 (B) に示す姿勢に変更されることで、接触部 216c は、指腹の表面に対しほぼ垂直上方に移動する (押し上げられる)。

一方、アクチュエータワイヤ 212 は、触覚提示部 216 の復元力 (弾性力) により、図 14 (B) 中左側 (第 1 の板片 216a を突出させるときのアクチュエータワイヤ 212 の移動方向と逆方向) に付勢される。すなわち、この触覚提示部 216 (第 1 の板片 216a) は、付勢手段を兼ねる。

## 【0116】

前記接触部 216c がほぼ垂直上方に移動しようとする力が働くことで、その接触部 216c が指腹をほぼ垂直方向へ押圧し、これにより、ユーザの手の指腹に押圧力を与える。

この動作が、複数の単位触覚発生部 210 のうちの指定された単位触覚発生部 210 でなされ、これにより、ユーザの手の指腹に触覚が提示される (与えられ

る)。よって、ユーザは、仮想空間画像における指腹の物体（対象物）への接触に相当する感覚を、指腹に得ることができる。

#### 【0 1 1 7】

前記指定された単位触覚発生部 2 1 0 において、動力発生部 2 1 1 のモータ 2 1 1 a の駆動が停止し、アクチュエータワイヤ 2 1 2 の巻き取り状態が解除されると、触覚提示部 2 1 6 の復元力（弾性力）と、ユーザの指からの圧力によって、触覚提示部 2 1 6 は、図 1 4（A）に示す初期状態に戻る。

これにより、触覚提示部 2 1 6 からユーザの手の指腹に与えられていた押圧力が実質的に消滅する。この力覚提示装置 2 によれば、前述した第 1 実施形態と同様の効果が得られる。

#### 【0 1 1 8】

次に、本発明の力覚提示装置及び力覚提示システムの第 3 実施形態について説明する。

図 1 5 は、第 3 実施形態の力覚提示装置のリアルグローブの外観構成例を示す外観図（一部図示を省略）である。なお、図を明瞭にするために、図 1 5 中では、図 3 に示す触覚発生部 2 1、動力発生部 2 1 1、力覚発生部 2 2、位置姿勢検出部 2 3、制御部 2 4 及び電力供給部 3 0 等は、図示されていない。

#### 【0 1 1 9】

以下、第 3 実施形態の力覚提示装置 2 について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

図 1 5 に示すように、第 3 実施形態の力覚提示装置 2 では、リアルグローブ 2 0 の手袋 2 a の筒状部 2 0 a の肘側（基端側）の端部に、空気（エア）の注入による空気圧（圧力）により腕に固定する形態（エア注入方式）の腕固定部 2 d が設けられている。

この腕固定部 2 d は、空気が注入される袋状の腕固定部本体 2 1 d と、その腕固定部本体 2 1 d に設けられたエア注入部 2 2 d とで構成されている。腕固定部本体 2 1 d の外観形状は、筒状をなしている。

#### 【0 1 2 0】

エア注入部 2 2 d の中空部は、腕固定部本体 2 1 d の内部に連通しており、

エア注入部 22d の先端部には、蓋体 23d が設けられている。

蓋体 23d をエア注入部 22d の先端部に装着すると、腕固定部本体 21d 内の気密性が保持され、蓋体 23d を取り外すと、腕固定部本体 21d に対し、エア注入部 22d を介して、空気の注入及び排出を行うことができる。

このような腕固定部 2d は、各ユーザに応じて、例えば、ゴム型等の型を用いて、ユーザの腕の形状に合うように成形される。

#### 【0121】

ユーザは、リアルグローブ 20 を装着する際は、まず、その手袋 2a を装着し、次に、腕固定部 2d の腕固定部本体 21d 内に、空気を注入する。

この空気注入では、例えば、エア注入部 22d の先端部から蓋体 23d を取り外し、そのエア注入部 22d から腕固定部本体 21d 内に空気を吹き込む。そして、所定量の空気を注入し終わると、エア注入部 22d の先端部に蓋体 23d を装着する。

このようにして、リアルグローブ 20 は、腕固定部 2d の空気圧によりユーザの腕に固定されるとともに、手首固定部 28 の復元力（弾性力）によりユーザの手首に固定される。

#### 【0122】

また、ユーザは、リアルグローブ 20 を取り外す際は、まず、腕固定部 2d の腕固定部本体 21d 内から空気を排出し、次に、リアルグローブ 20 を手から取り外す。

この力覚提示装置 2 によれば、前述した第 1 実施形態と同様の効果が得られるとともに、この力覚提示装置 2 では、腕固定部 2d がエア注入方式のものであるので、リアルグローブ 20 の装着及び取り外しを容易かつ迅速に行うことができる。

なお、本発明では、触覚発生部 21 の単位触覚発生部 210 を、前述した第 2 実施形態のように構成してもよい。

#### 【0123】

次に、本発明の力覚提示装置及び力覚提示システムの第 4 実施形態について説明する。

図16は、第4実施形態の力覚提示装置の位置姿勢検出部の構成例を示すブロック図、図17は、第4実施形態の力覚提示装置の位置姿勢検出部の構成例を示す外観図（一部図示を省略）、図18は、図17に示す位置姿勢検出部のZ方向検出センサの構成例を示す外観図である。なお、図17及び図18中において、それぞれ、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を想定する。

#### 【0124】

以下、第4実施形態における力覚提示装置2について、前述した第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

第4実施形態における力覚提示装置2では、位置姿勢検出部（位置検出手段）23として、例えば、コリオリ力を利用して互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸の回りの角速度をそれぞれ検出するジャイロセンサ（ジャイロスコープ）を用いる。

#### 【0125】

そして、この力覚提示装置2では、凹凸入力部（撮像手段）53a、53bにより周囲を撮像し、その撮像された周囲の画像に指に対応する部分が含まれている場合には、凹凸入力部53a、53bからの画像データ（映像データ）に基づいて指の位置を求め、前記撮像された周囲の画像に指に対応する部分が含まれていない場合には、前記各位置姿勢検出部23により指の位置を検出し、各位置姿勢検出部23からの情報に基づいて指の位置を求める。

#### 【0126】

図17に示すように、位置姿勢検出部23は、ケーシング60と、ケーシング60内に設けられ、X軸の回りの角速度を検出するX方向検出センサ（第1の検出センサ）61、Y軸の回りの角速度を検出するY方向検出センサ（第2の検出センサ）62及びZ軸の回りの角速度を検出するZ方向検出センサ（第3の検出センサ）63とを有している。

また、図18に示すように、Z方向検出センサ63は、エリンバー（基台）64と、エリンバー64に設置された振動用の圧電素子（振動用圧電素子）65及び検出用の圧電素子（検出用圧電素子）66とで構成されている。このZ方向検出センサ63は、2本のワイヤ67、68により支持されている。



## 【0127】

エリンバー 64 の形状は、Z 軸方向に長い略直方体をなしており、その略直交する 2 つの面の一方に前記振動用圧電素子 65 が設置され、他方に検出用圧電素子 66 が設置されている。この場合、Y 軸に対して垂直な面に、振動用圧電素子 65 が配置され、X 軸に対して垂直な面に、検出用圧電素子 66 が配置されているが、その配置を逆にしてもよい。

## 【0128】

この Z 方向検出センサ 63 の振動用圧電素子 65 に図 16 に示す交流電源 69 から交流電圧が印加されると、その振動用圧電素子 65 は、X 軸方向に振動（屈曲振動）し、これによりエリンバー 64 も X 軸方向に振動する。このとき、Z 軸の回りに回転（角速度）が生じると、その角速度に対応したレベルの電圧（信号）が検出用圧電素子 66 から検出される。

## 【0129】

なお、X 方向検出センサ 61 及び Y 方向検出センサ 62 の構成は、前記 Z 方向検出センサ 63 と同様であるので、その説明は省略する。それらの作用は、X 軸の回りに回転（角速度）が生じると、その角速度に対応したレベルの電圧（信号）が X 方向検出センサ 61 の検出用圧電素子 66 から検出され、Y 軸の回りに回転（角速度）が生じると、その角速度に対応したレベルの電圧（信号）が Y 方向検出センサ 62 の検出用圧電素子 66 から検出される。

## 【0130】

図 16 に示すように、位置姿勢検出部 23 の X 方向検出センサ 61 によって検出された X 軸の回りの角速度に対応した信号（検出データ）と、Y 方向検出センサ 62 によって検出された Y 軸の回りの角速度に対応した信号（検出データ）と、Z 方向検出センサ 63 によって検出された Z 軸の回りの角速度に対応した信号（検出データ）とは、それぞれ、信号処理部 25 の増幅部 251 において増幅され、A/D 変換部 252 においてデジタル信号に変換された後、図 2 に示す信号送受信部 26 に出力され、この信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信される。

情報処理装置 8 では、リアルグローブ 20 からの信号を受信し、その信号（情

報)に基づいて、リアルグローブ 2 0 を装着した各指、手、手首、腕などの各部の位置及び姿勢、すなわち、前記各部の座標を導出し、その情報を所定の各処理において利用するために記憶部 8 5 の所定の格納領域に保存する。

#### 【0 1 3 1】

次に、本発明の力覚提示装置及び力覚提示システムの第 5 実施形態について説明する。

図 1 9 は、本発明の第 5 実施形態における力覚提示装置を概略的に示す斜視図であり、図 2 0 は、図 1 9 に示す力覚提示装置の 1 つの指に対応するアーム部の拡大図であり、図 2 1 は、図 2 0 に示すアーム部のジョイント部の断面図であり、図 2 2 は、図 2 0 に示すアーム部の指を挿入する力覚提示部の拡大図である。

#### 【0 1 3 2】

以下、第 5 実施形態における力覚提示装置 2 について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

第 5 実施形態における力覚提示装置 2 では、力覚発生部 2 2 として、特に、ユーザの指先に力覚を提示する複数のモータ 2 0 1 を用い、位置姿勢検出部（位置検出手段） 2 3 として、後述する複数のリンク 2 0 3、複数のエンコーダ 2 0 8、及び連結部 2 0 4 を用いる。

図 1 9 に示すように、第 5 実施形態の力覚提示装置 2 は、ユーザの各指先に適用する複数のアーム部 2 0 0（図 1 9 では、2 本のアーム部 2 0 0 しか示さないが、本実施形態では、ユーザの 5 本の指すべてに適用される。）と、ユーザの手の甲側に適用するアーム部 2 0 0 とを備える。

#### 【0 1 3 3】

なお、図 1 9 では、各アーム部 2 0 0 は、その一端がユーザの指先又は手の甲に装着され、他端がそれぞれ中空に浮いているように示されているが、本実施形態では、すべてのアーム部 2 0 0 は、上記他端側で 1 つにまとめ、その部分に制御部 2 4、信号処理部 2 5 及び信号送受信部 2 6 が配置されている。しかしながら、本発明は、この構成に限らず、例えば、各アーム部 2 0 0 の他端側にそれぞれ制御部 2 4、信号処理部 2 5 及び信号送受信部 2 6 を備えていてもよい。

各アーム部 2 0 0 の構造（構成）はほぼ等しいので、ここでは、図 2 0 に示す

指先に適用されるアーム部 200、図 21 に示すそのアーム部 200 のジョイント部 205、及び、図 22 に示す力覚提示部 206 及び連結部 204 を用いて、その構成を詳細に説明する。

#### 【0134】

図 20 において、アーム部 200 は、3 本のリンク 203 と、リンク 203 とリンク 203 とを連結する 3 つのジョイント（節） 205 と、各ジョイント部 205 に設けられる 3 つのモータ 201 と、各モータ 201 に対応してジョイント部 205 に設けられるクラッチ 202 と、ユーザの指先に装着する力覚提示部 206 と、力覚提示部 206 とリンク 203 とのジョイントをなす連結部 204 とを備える。

#### 【0135】

なお、本実施形態では、3 本のリンク 203 を備えるアーム部 200 について説明するが、本発明の力覚提示装置 2 は、これに限定されず、アーム部 200 にはリンク 203 がいくつ用いられてもよい。このリンク 203 の数は、本実施形態の力覚提示装置 2 を装着したユーザの指先の自由度、位置姿勢検出部 23 の検出能力（検出時間などの処理能力）などを考慮して、適当な数に決定するのが好ましい。

#### 【0136】

ここで、図 21 を用いてジョイント部 205 の構造を説明する。図 21 に示すように、2 つのリンク 203 を連結するジョイント部 205 には、モータ 201 と、モータ軸 201a に連結されるエンコーダ 208 と、モータ 201 の所定方向への回転を抑制（規制）するワンウェイクラッチ（移動規制手段） 207 と、このワンウェイクラッチ 207 を介してモータ軸 201a に連結されるクラッチ（クラッチ機構） 202 とが配置される。なお、図 21 に示すように、1 つのリンク 203 はモータ軸 201a に連結し、もう 1 つのリンク 203 は、クラッチ 202 に連結されている。

#### 【0137】

モータ 201 は、図 20 に示す方向 A 及び B のいずれにも回転可能であり、モータ 201 の回転角度を変えることにより、モータ 201 が配置されるジョイン

ト部 2 0 5 に連結される 2 つのリンク 2 0 3 の角度を調整することができる。すなわち、2 つのリンク 2 0 3 の一方は、モータ 2 0 1 の出力軸であるモータ軸 2 0 1 a に取り付けられており、モータ 2 0 1 の回転角度とジョイント部 2 0 5 の回転角度が一致するように構成されている。

#### 【0 1 3 8】

また、上述の情報処理装置 8 の衝突判定部 8 2 により、ユーザの指先が仮想空間画像内の対象物に触れた（衝突した）と判定された場合には、力覚提示装置 2 は、記憶部 8 5 に保存されているその対象物の物性データ及び状態量に基づいて演算された作用力（反力）を信号送受信部 2 6 を介して受信する。そして、モータ 2 0 1 は、その作用力データに基づいて、ユーザの指先に反力（力覚）を提示するように、通電されて駆動（回転）する。なお、このモータ 2 0 1 は、通電されていないときは回転するモータ軸 2 0 1 a が自由に回転可能なモータである。

#### 【0 1 3 9】

エンコーダ 2 0 8 は、上述のように、モータ 2 0 1 のモータ軸 2 0 1 a に連結されており、位置姿勢検出部 2 3 を構成する。エンコーダ 2 0 8 は、モータ 2 0 1 の回転角度、すなわち、2 つのリンク 2 0 3 の相対的な回転角度を検出することができる。検出された 2 つのリンク 2 0 3 間の角度情報（信号）は、信号処理部 2 5 において所定の信号処理をされた後、信号送受信部 2 6 を介して情報処理装置 8 に送信される（図 2 参照）。

#### 【0 1 4 0】

クラッチ 2 0 2 のスリーブは、ワンウェイクラッチ 2 0 7 を介してモータ 2 0 1 のモータ軸 2 0 1 a に連結されている。このクラッチ 2 0 2 は、クラッチ 2 0 2 内部のコイルに通電することにより、モータ 2 0 1 の駆動を固定（回転不能に）するが、ワンウェイクラッチ 2 0 7 を介しているため、一方向への回転は自由なままである。

なお、図 2 0 において、ワンウェイクラッチ 2 0 7 が作動している場合、各ジョイント部 2 0 5 では、A 方向には自由に回転可能であり、B 方向には回転不可能である。以下、A 方向を順方向、B 方向をロック方向という。

#### 【0 1 4 1】

ワンウェイクラッチ 207 は、その内部に図示しない内輪と外輪を含み、その外輪は、クラッチ 202 のスリーブに固定あるいは回転止めされている。これにより、ワンウェイクラッチ 207 が順方向に回転する場合には、その内輪が回転し、逆に、ワンウェイクラッチ 207 がロック方向に回転する場合には、その内輪及び外輪、並びにクラッチ 202 のロータと一緒に回転する。

#### 【0142】

なお、仮想空間において、対象物などに触れずにユーザがアーム部 200 を装着した指を移動する場合には、モータ 201 及びクラッチ 202 への通電がオフされ、ユーザはその指先を自由に移動することができる。

ここで、すべてのモータ 201 によって力覚発生手段が構成され、各リンク 203、ジョイント部 205、連結部 204、及び力覚提示部 206 によって力覚提示部が構成される。また、エンコーダ 208 及び連結部 204 によって位置検出手段が構成される。

#### 【0143】

図 22 に示すように、力覚提示部 206 は、図 20 に示すように、ユーザの指先が挿入できるように中空の筒状をしている。モータ 201 を駆動した場合やクラッチ 202 をオンしてワンウェイクラッチ 207 を作動した場合には、力覚提示部 206 は、それらで発生した作用力（力覚）をユーザの指先に提示するものである。

また、図 23 は、本発明の一実施形態における力覚提示部 206 の断面図であるが、力覚提示部 206 は、この図 23 に示すように、その内表面であってユーザの指腹が当たる部分にピン駆動による触覚提示部 209 を備えていてもよい。これにより、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

#### 【0144】

図 22 では、図 20 に示した連結部 204 のカバーをはずしたものを示す。この連結部 204 は、ジンバル構造となっており、図 22 に示す矢印の方向に回転可能である。

また、連結部 204 は、図示しないポテンシオメータ等の回転角度検出手段を備えており、力覚提示部 206 の姿勢を検出することができる。なお、連結部 2

04として、ボールジョイントなどを用いることも可能であるが、その場合には、力覚提示部206の姿勢を検出する手段を別途設ける必要がある。

このように、本実施形態の力覚提示装置2は、情報処理装置8の指示に従って、モータ201をオン／オフし、あるいはクラッチ202を介してワンウェイクラッチ207を作動／不作動することにより、ユーザの指先に力覚を提示することができる。

#### 【0145】

次に、第5実施形態における力覚提示装置2の動作（作用）について説明する。図24は、本発明の力覚提示処理（力覚提示方法）を示すフローチャートである。このフローチャートからも分かるように、本発明の力覚提示方法は、主に、力覚提示システム1における力覚提示装置2と情報処理装置8とのデータ送受信によって行われる。そのため、このフローチャートでは、仮想空間表示装置5の動作を省略しているが、必要に応じて説明を加える。

#### 【0146】

使用に先立って、ユーザは、各部（各装置）の電源を入れ、力覚提示装置2を両手にそれぞれ装着し、眼鏡状の仮想空間表示装置5をかける（顔面に装着する）。すると、仮想空間表示装置5の画像表示部51a、51bに、予め情報処理装置8の記憶部85に画像データとして格納されている仮想空間画像、あるいは仮想空間表示装置5の撮像手段によって撮像された画像データから生成された仮想空間画像が表示される。

#### 【0147】

そして、力覚提示システム1では、各装置の初期設定が行われる。この初期設定では、力覚提示装置2の各モータ201の回転角度、すなわち、アーム部200の各ジョイント部205の角度がエンコーダ208及び連結部204によって検出され、それらの検出された角度データは、信号送受信部26を介して情報処理装置8に送信される。

#### 【0148】

情報処理装置8では、演算処理部81は、上記角度データに基づいて、力覚提示装置2を装着したユーザの各指先及び手の甲の仮想空間における位置及び姿勢

を演算し、その演算結果、すなわち、仮想空間における各ポイントの座標を制御部 84 及び信号処理部 86 に出力する。

制御部 84 は、これらの座標から仮想空間内にユーザの手の画像を画像生成部 83 に生成させる。画像生成部 83 は、このユーザの手の画像データを現在仮想空間表示装置 5 に表示している仮想空間画像データと合成し、合成した画像データを信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して仮想空間表示装置 5 に送信する。

#### 【0149】

仮想空間表示装置 5 は、受信した仮想空間画像データを画像表示部 51a、51b に表示する。以上によって、初期設定が終了する。

この初期設定が終了すると、力覚提示システム 1 は使用可能状態となる。以下、図 24 のフローチャートに基づいて、本実施形態の力覚提示装置 2 及び力覚提示システム 1 の動作を説明する。

#### 【0150】

まず、力覚提示装置 2 では、位置姿勢検出部 23 は、各アーム部 200 の各ジョイント部 205 の角度を検出する。すなわち、位置姿勢検出部 23 は、各ジョイント部 205 に配置されるエンコーダ 208 を用いて対応する各モータ 201 の回転角度を検出し、連結部 204 の回転角度検出手段を用いて、力覚提示部 206 の姿勢を検出する。

そして、これらの検出データは、位置姿勢検出部 23 から信号処理部 25 に出力され、信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信される（ステップ S101）。

#### 【0151】

信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 から送信された検出データを受信すると、情報処理装置 8 は、制御部 84 を介してそれらのデータを演算処理部 81 に入力する。そして、演算処理部 81 は、これらの検出データに基づいて、ユーザの各指及び手の仮想空間内における位置及び姿勢を演算する（ステップ S102）。

#### 【0152】

すなわち、演算処理部 81 は、記憶部 85 に予め格納されているアーム部 200 のアーム長、すなわち、各リンク 203 のそれぞれのリンク長と、このアーム部 200 を支持している支持部（図示せず）の座標データと、上記検出データ、すなわち、各ジョイント部 205 のそれぞれ検出された回転角度とを用いて、順運動学的にユーザの指先の位置を演算する。演算結果は、ユーザの各指先及び手の甲の仮想空間における座標（位置情報）として表される。

その演算結果は、制御部 84 を介して画像生成部 83 に入力される。画像生成部 83 は、この演算結果に基づいて、仮想空間におけるユーザの手の画像を作成し、その手の画像を重ね合わせて仮想空間画像を更新する（ステップ S103）。

。

#### 【0153】

そして、その更新して生成された画像データは、信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して仮想空間表示装置 5 に送信される。仮想空間表示装置 5 は、受信した画像データに基づいて、画像表示部 51a、51b に更新した仮想空間画像を表示する。これにより、ユーザは、仮想空間表示装置 5 の画像表示部 51a、51b によって、仮想空間画像内に表示されたユーザの手を見ることができる。

。

ここで、演算処理部 81 の演算結果が仮想空間内でユーザの指が移動していないことを示している場合、すなわち、上記検出データが前回の検出データ（ここでは、初期設定時のデータ）と同一である場合、画像生成部 83 は、仮想空間画像を更新することなく、ステップ S104 に移行してもよい。

#### 【0154】

ステップ S104 において、情報処理装置 8 の衝突判定部（干渉判定手段）82 は、演算処理部 81 によって得られたユーザの指先の位置情報及び記憶部 85 に予め記憶されている仮想空間画像内の対象物の位置情報に基づいて、ユーザの指先と仮想空間中の対象物が干渉したか否か（衝突したか否か）を判定する。そして、それらが干渉していないと判定された場合には（ステップ S104 において NO）、各モータ 201 及び各クラッチ 202 の出力をオフ、すなわち、これらへの通電を止めて（ステップ S105）、ステップ S101 に戻り同様の処理



を繰り返す。なお、現時点ではモータ 201 又はクラッチ 202 への通電は行われていないので、そのままステップ S101 に戻り同様の処理を繰り返す。

#### 【0155】

また、ステップ S104 においてユーザの指先と対象物が干渉したと判定された場合には（ステップ S104 において YES）、制御部 84 は、その対象物の物性データ及び状態量データを記憶部 85 の所定の保存先から読み出し、これらのデータを演算処理部 81 に出力する。演算処理部 81 は、当該データに基づいて、対象物のユーザの指への作用力を演算する（ステップ S106）。

#### 【0156】

ステップ S107 において、制御部 84（ここでは、判別手段）は、演算処理部 81 によって演算された作用力が予め設定され、記憶部 85 の所定の保存領域に記憶されている所定の閾値よりも大きいか否かを判別する。そして、この作用力が所定の閾値よりも大きいと判別された場合には、制御部 84 は、クラッチ 202 の動作信号（作動信号）を信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 に送信する（ステップ S109）。

一方、上記作用力が所定の閾値よりも小さいと判別された場合には、演算処理部 81 は、力覚提示装置 2 の各モータ 201 への作用力の分配比率を演算し（ステップ S109）、その演算結果を適正なモータ動作信号として信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 に送信する（ステップ S110）。

#### 【0157】

モータ 201 の動作信号又はクラッチ 202 の動作信号を受信した力覚提示装置 2 は、制御部 24 を介してその動作信号を力覚発生部 22 に入力する。そして、力覚発生部 22 は、その動作信号に基づいて、モータ 201 又はクラッチ 202 を通電し、モータ 201 の動作信号の場合には、各モータ 201 を駆動して作用力（力覚）を発生し、クラッチ 202 の動作信号の場合には、クラッチ 202 を駆動してワンウェイクラッチ 207 を作動して（ステップ S111）、この力覚提示処理を終了する。

これにより、ユーザは、力覚提示部 206 を介してモータ 201 で発生した力

覚を提示され、あるいは、ワンウェイクラッチ 207 の作動によりユーザの指先の所定方向への移動を規制される。

#### 【0158】

なお、この図 24 のフローチャートに示す力覚提示処理におけるステップ S101 の各ジョイント部 205 の検出ステップは、情報処理装置 8 の演算処理部 81 の演算処理能力に基づいて、所定の時間間隔で、例えば、1～2 秒毎に実行される。この検出ステップの検出頻度は、大きければ大きいほど、すなわち、時間間隔が短ければ短いほど、仮想空間領域におけるユーザへの力覚提示が自然に近くなるので、その検出頻度は、上記演算処理部 81 の演算処理能力に応じて適宜決定されるべきである。

#### 【0159】

次いで、図 25 のフローチャートを参照して、本発明のコントラスト提示処理について説明する。図 25 は、本発明のコントラスト提示処理（コントラスト提示方法）を示すフローチャートである。このコントラスト提示処理は、好ましくは、ユーザが本発明の力覚提示装置 2 を装着したとき、すなわち、本発明の力覚提示装置 2 の使用開始時に行われる。なお、このコントラスト提示処理は、ユーザの指に作用する力覚のキャリブレーション、すなわち、力覚提示装置 2 のキャリブレーションに相当する処理である。

#### 【0160】

なお、上記力覚提示処理のフローチャート（図 24）と同様に、このフローチャートでも、仮想空間表示装置 5 の動作を省略しているが、必要に応じて適宜説明を加える。また、説明が前後するが、上述の初期設定が終了し、本発明のコントラスト提示処理を実行した後、通常の使用時には、上記力覚提示処理が常時実行されている。

#### 【0161】

まず、ユーザに力覚のコントラストを提示するために、情報処理装置 8 の画像生成部 83 において、記憶部 85 に予め格納されている画像データに基づいて、仮想空間画像中に所定の対象物の画像が生成される（ステップ S201）。そして、この生成された画像は、信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して仮想

空間表示装置 5 に送信される。仮想空間表示装置 5 では、その画像データは、画像表示部 51a、51b に表示される。

#### 【0162】

仮想空間画像が仮想空間表示装置 5 に表示された状態において、力覚提示装置 2 では、位置姿勢検出部 23 は、各アーム部 200 の各ジョイント部 205 の角度を検出する。すなわち、位置姿勢検出部 23 は、各ジョイント部 205 に配置されるエンコーダ 208 を用いて対応する各モータ 201 の回転角度を検出し、連結部 204 の回転角度検出手段を用いて、力覚提示部 206 の姿勢を検出する。

そして、これらの検出データは、位置姿勢検出部 23 から信号処理部 25 に出され、信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信される（ステップ S202）。

#### 【0163】

信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 から送信された検出データを受信すると、情報処理装置 8 は、制御部 84 を介してそれらのデータを演算処理部 81 に入力する。そして、演算処理部 81 は、これらの検出データに基づいて、ユーザの各指及び手の仮想空間内における位置及び姿勢を演算する（ステップ S203）。

#### 【0164】

すなわち、演算処理部 81 は、記憶部 85 に予め格納されているアーム部 200 のアーム長、すなわち、各リンク 203 のそれぞれのリンク長と、このアーム部 200 を支持している支持部（図示せず）の座標データと、上記検出データ、すなわち、各ジョイント部 205 のそれぞれ検出された回転角度とを用いて、順運動学的にユーザの指先の位置を演算する。演算結果は、ユーザの各指先及び手の甲の仮想空間における座標（位置情報）として表される。

#### 【0165】

その演算結果は、制御部 84 を介して画像生成部 83 に入力される。画像生成部 83 は、この演算結果に基づいて、仮想空間におけるユーザの手の画像を作成し、その手の画像を重ね合わせて仮想空間画像を更新する（ステップ S204）

。なお、このコントラスト提示処理では、開始時に、例えば、上記で表示された所定の対象物を適当な力の強さで押すように、仮想空間表示装置 5 に適当なメッセージを表示するのが好ましい。

#### 【0 1 6 6】

そして、その更新して生成された画像データは、信号処理部 8 6 及び信号送受信部 8 7 を介して仮想空間表示装置 5 に送信される。仮想空間表示装置 5 は、受信した画像データに基づいて、画像表示部 5 1 a、5 1 b に更新した仮想空間画像を表示する。これにより、ユーザは、仮想空間表示装置 5 の画像表示部 5 1 a、5 1 b によって、仮想空間画像内に表示されたユーザの手を見ることができる。

#### 【0 1 6 7】

ステップ S 2 0 5 において、情報処理装置 8 の衝突判定部 8 2 は、演算処理部 8 1 によって得られたユーザの指先の位置情報及び記憶部 8 5 に予め記憶されている仮想空間画像内の当該所定の対象物の位置情報に基づいて、ユーザの指先と仮想空間中の対象物が干渉したか否か（衝突したか否か）を判定する。そして、それらが干渉していないと判定された場合には（ステップ S 2 0 5 において N O）、各モータ 2 0 1 の出力をオフ、すなわち、通電を止めて（ステップ S 2 0 6）、ステップ S 2 0 2 に戻り同様の処理を繰り返す。なお、上記のようにユーザに対して対象物と干渉するように表示などをしている場合には、ユーザはこの対象物を触ろうと仮想空間中で手及び指を移動するので、このような処理が行われることは稀であろう。

#### 【0 1 6 8】

また、ステップ S 2 0 5 においてユーザの指先と対象物が干渉したと判定された場合には（ステップ S 2 0 5 において Y E S）、制御部 8 4 は、その対象物の物性データ及び状態量データを記憶部 8 5 の所定の保存先から読み出し、これらのデータを演算処理部 8 1 に出力する。演算処理部 8 1 は、当該データに基づいて、対象物のユーザの指への最初の作用力を演算する（ステップ S 2 0 7）。このコントラスト提示処理では、ユーザ側が主体となって所定の対象物を押す動作をしているので、仮想空間中における所定の対象物の表示位置にユーザの指先を

保持（固定）するために、その作用力と反対方向への反力（相互作用）を力覚発生部 22 である各モータ 201 が駆動して発生している。そのため、演算処理部 81 は、ここでは、各モータ 201 を駆動するための入力信号（制御信号）を用いて（あるいは、別のセンサ（図示せず）によりモータの出力をモニタして）、ユーザが対象物を押している作用力を演算することとなる。

#### 【0169】

そして、制御部 84 は、ユーザの指先の位置が所定の位置から動かないように、力覚提示装置 2 の力覚発生部 22 である各モータ 201 をユーザの押す作用力に追従して駆動制御する（ステップ S208、S209）。なお、この場合でも、ユーザの作用力は、演算処理部 81 の演算結果に基づいて、各モータ 201 に分配される。

#### 【0170】

ステップ S210 において、情報処理装置 8 の制御部 84 は、ユーザが対象物を押す作用力が第 1 の閾値を超えているか否かを判定する。第 1 の閾値を超えていないと判定された場合には、ステップ S207 に戻り、同様の処理（作用力を演算し、各モータ 201 に分配する処理）を繰り返す。

ステップ S210 において上記ユーザの作用力が第 1 の閾値を超えていると判定された場合には、制御部 84 は、記憶部 85 に予め保存されている第 2 の閾値に対応する、各モータ 201 の動作信号（制御信号）を、信号処理部 86 及び信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 に送信する（ステップ S211）。

この各モータ 201 の動作信号を受信した力覚提示装置 2 は、この信号に基づいて、各モータ 201 の出力を変更し（ステップ S212）、このコントラスト提示処理を終了する。

#### 【0171】

なお、第 1 及び第 2 の閾値は、情報処理装置 8（すなわち、力覚提示システム 1）に予め設定されていてもよく、あるいは、力覚提示システム 1（力覚提示装置 2）を利用するユーザによって適宜変更可能なように構成されていてもよい。第 1 の閾値としては、ユーザが十分に所定の対象物を押していると感じる程度の大きさであるとともに、力覚提示装置 2 にとって過負荷とならないような大きさ

であることが好ましく、例えば、5 kg 重 (50 N (ニュートン)) 程度である。

#### 【0172】

また、第2の閾値は、第1の閾値に対応して、ユーザ、すなわち、人間がコントラストを十分に感じられるように、小さい値である方がよく、好ましくは、各モータ201によって発生する作用力が概ね0に相当する値、すなわち、モータ201への通電を止めたときの作用力(負荷)の値(このとき、ユーザの指先は自由な移動が可能である)である。

このように、第1の閾値と第2の閾値が十分にずれて(離れて)いることにより、ユーザへのコントラストはよりよく提示される。

#### 【0173】

次いで、図26のフローチャート及び図27～図29の概略図を参照して、本発明の画像補正方法(画像補正処理)を説明する。なお、力覚提示装置2の構成は、本第5実施形態のもので代表して説明する。図26は、本発明の画像補正処理を示すフローチャートであり、図27は、力覚提示手段を装着した2本の指で紙を掴む場合の概念図(補正前)、図28は、力覚提示手段を装着した2本の指を接触させた場合の概念図(補正後)、図29は、本発明の画像補正処理で人差し指を補正した場合の概念図(補正前後)である。

#### 【0174】

この画像補正処理も、上記コントラスト提示処理と同様に、好ましくは、ユーザが本発明の力覚提示装置2を装着したとき、すなわち、本発明の力覚提示装置2の使用開始時に行われる(対応するアプリケーションプログラムが実行される)。なお、この画像補正処理は、ユーザの指を含む仮想空間画像のキャリブレーション、すなわち、力覚提示システム1のキャリブレーションに相当する処理である。

#### 【0175】

なお、上記力覚提示処理のフローチャート(図24)及びコントラスト提示処理(図25)と同様に、このフローチャートでも、仮想空間表示装置5の動作を省略しているが、必要に応じて適宜説明を加える。また、説明が前後するが、上

述の初期設定が終了し、本発明のコントラスト提示処理を実行した後、通常の使用時には、上記力覚提示処理が常時実行されている。

#### 【0176】

まず、ユーザは、情報処理装置 8 の指示によって所定のメッセージが表示された仮想空間表示装置 5 を確認し（ステップでは示さず）、力覚提示装置 2 を装着した手を基準位置に移動する。ここで、基準姿勢とは、例えば、指のすべての関節を伸ばして掌を開いた状態のように、少なくとも親指と処理対象の指（このフローチャートの説明では、人差し指）の関節が伸びた状態の姿勢をいう。

#### 【0177】

そして、この基準姿勢の状態において、位置姿勢検出部 23 は、仮想空間におけるユーザの指先の位置を検出するために、各アーム部 200 の各ジョイント部 205 の角度を検出する。すなわち、位置姿勢検出部 23 は、各ジョイント部 205 に配置されるエンコーダ 208 を用いて対応する各モータ 201 の回転角度を検出し、連結部 204 の回転角度検出手段を用いて、力覚提示部 206 の位置及び姿勢、すなわち、ユーザの手及び指の位置及び姿勢を検出する。そして、制御部 24 は、これらの検出データ（角度データ）を信号処理部 25 及び信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信する（ステップ S301）。

#### 【0178】

信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 から送信された検出データを受信すると、情報処理装置 8 は、制御部 84 を介してそれらのデータを演算処理部 81 に入力する。そして、演算処理部 81 は、これらの検出データに基づいて、ユーザの各指及び手の仮想空間内における位置及び姿勢を演算する（ステップ S302）。そして、制御部 84 は、演算結果及び各ジョイント部の関節角度  $\theta_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) を記憶部 85 の所定の保存領域に格納する。

#### 【0179】

なお、ユーザの各指及び手の仮想空間内における位置及び姿勢を演算する方法は、各エンコーダの出力から得られる関節角度及びリンク 203 のリンク長などを用いて、力覚提示システム 1（又は力覚提示装置 2）における所定の基準位置から順運動学的に指先及び手の甲の位置・姿勢を演算し、この演算結果から得ら

れた指先及び手の甲の位置・姿勢に基づいて、指の各関節をリンクとして近似表現したデータを用いて、指先の位置から逆運動学的にユーザの手の位置検出を行っていない部分の形状（例えば、指の各関節角度など）を演算するというものである。このように、順運動学的演算だけでなく、逆運動学的演算を行うことにより、仮想空間におけるユーザの手及び指の位置・姿勢を正確に検出することができる。

#### 【0180】

上述の各データの格納が終わると、同様に、ユーザは、情報処理装置 8 の指示によって所定のメッセージが表示された仮想空間表示装置 5 を確認し（ステップでは示さず）、力覚提示装置 2 を装着した手の人差し指と親指の 2 本で何もない状態でものを掴む動作をする。

#### 【0181】

そして、この状態において、位置姿勢検出部 23 は、仮想空間におけるユーザの指先の位置を検出するために、各アーム部 200 の各ジョイント部 205 の角度を検出する。すなわち、位置姿勢検出部 23 は、各ジョイント部 205 に配置されるエンコーダ 208 を用いて対応する各モータ 201 の回転角度を検出し、連結部 204 の回転角度検出手段を用いて、力覚提示部 206 の位置及び姿勢、すなわち、ユーザの手及び指の位置及び姿勢を検出する。そして、制御部 24 は、これらの検出データ（角度データ）を信号処理部 25 及び信号送受信部 26 を介して情報処理装置 8 に送信する（ステップ S303）。

#### 【0182】

信号送受信部 87 を介して力覚提示装置 2 から送信された検出データを受信すると、情報処理装置 8 は、制御部 84 を介してそれらのデータを演算処理部 81 に入力する。そして、演算処理部 81 は、これらの検出データに基づいて、上記ステップ S302 の場合と同様に、ユーザの各指及び手の仮想空間内における位置及び姿勢を演算する（ステップ S304）。そして、制御部 84 は、演算結果及び各ジョイント部の関節角度  $\phi_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) を記憶部 85 の所定の保存領域に格納する。

#### 【0183】



上述の各データの格納が終わると、演算処理部 81 の演算結果に基づいて、画像生成部 83 は、ユーザの手を取り込んだ状態における仮想空間画像を生成する（ステップ S305）。ここで、ユーザが力覚提示装置 2 を装着した 2 本の指で実際に摘んでいる（2 本の指が接触している）状態を図 27 に示す。実空間においては、図 27（A）に示すように、ユーザの 2 本の指先は、力覚提示部 206 の厚みを介して接触（干渉）している。一方、仮想空間画像においては、図 27（B）に示すように、仮想空間表示装置 5 は、力覚提示部 206 に厚みがあるために、2 本の指はぴったりと接触しているように表示することができず、仮想空間では、対象物（図 27 では、紙などの薄状物）は、2 本の指先の間に接触していないように表示される。なお、このユーザの指が摘む動作をしている状態の各指先の位置を実摘み位置という。

#### 【0184】

この状態において、画像生成部 83 は、図 27（B）のような状態から図 28（B）のような状態になるように、仮想空間画像を変更（補正）して生成するとともに（ステップ S306）、図 28（B）に示すような 2 本の指先位置を特定し、制御部 84 を介してその位置情報（座標データ）を演算処理部 81 に出力する。なお、このユーザの 2 本の指が接触（干渉）している状態の各指先の位置を仮想摘み位置という。

#### 【0185】

そして、演算処理部 81 は、各指先の位置が上記補正によってずれた際の、実摘み位置から仮想摘み位置へのずれ量に基づいて、各ジョイント部 205 の関節角度のずれ量を演算する（ステップ S307）。なお、このずれ量の演算は、基準となる指（本実施形態では、親指）に対して一方の指（本実施形態では、人差し指）についてのみ行われる。このように、2 本の指先の一方の指についてのみ、仮想空間画像を補正するための演算を行うことによって、本発明では演算を容易に実行することができる。

#### 【0186】

そして、制御部 84 は、上記ずれ量演算によって得られた各ジョイント部 205 の関節角度のずれ量  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) を記憶部 85 の所定の保存領域

域に格納する。以下、上記  $\theta_i$ 、 $\phi_i$ 、及び  $\alpha_i$  に基づいて、制御部 84 は、仮想空間画像を補正するための変換則を決定する（ステップ S308）。この変換則に用いられる変換方法は、いろいろなものが考えられるが、ここでは、代表的な 2 つの変換方法を示す。

#### 【0187】

まず、第 1 の変換方法は、上記ずれ量に基づいて、基準姿勢のときの親指以外の指（本実施形態では、人差し指）の指先位置から仮想摘み位置までの間において、力覚提示装置 2 のアーム部 200 の各ジョイント部 205 の関節角度を比例拡大するものである。すなわち、本発明の力覚提示装置 2 をユーザが操作している間、一定周期（例えば、1、2 秒）で対応するアーム部 200 の各ジョイント部 205 の関節角度がエンコーダ 208 によって検出され、演算処理部 81 は、その検出結果、すなわち、各ジョイント部の関節角度  $\beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) に対して、上述の検出結果から定まる定数：

$$K_i = (\phi_i - \theta_i + \alpha_i) / (\phi_i - \theta_i) \quad (1)$$

を用いて、換算（変換）された各ジョイント部 205 の関節角度：

$$\beta_{\text{new } i} = K_i \cdot (\beta_i - \theta_i) + \theta_i \quad (2)$$

を演算する。そして、このようにして得られた各ジョイント部 205 の関節角度に基づいて、情報処理装置 8 の画像生成部 83 は、仮想空間におけるユーザの指を取り込んで、仮想空間画像を生成（更新）する。

#### 【0188】

次に、第 2 の変換方法は、上述のようにエンコーダ 208 によって検出され、記憶部 85 に格納された各ジョイント部 205 の関節角度のずれ量  $\alpha_i$  の値をそのまま用いて、この値を各モータ 201 の回転角度のオフセット値として用いるものである。具体的には、上述の力覚提示処理（図 24 参照）のステップ S101 に示すように、力覚提示装置 2 では、装置の駆動中（操作中）予め設定された一定周期で、位置姿勢検出部 23 によって各ジョイント部 205 の回転角度（関節角度）が検出されている。検出された回転角度と関節角度のずれ量  $\alpha_i$  とを用いて、演算処理部 81 は、換算（変換）された各ジョイント部 205 の関節角度：

$$\beta_{\text{new } i} = \beta_i + \alpha_i \quad (3)$$

を演算する。そして、このようにして得られた各ジョイント部 2 0 5 の関節角度に基づいて、情報処理装置 8 の画像生成部 8 3 は、仮想空間におけるユーザの指を取り込んで、仮想空間画像を生成（更新）する。

#### 【0 1 8 9】

ステップ S 3 0 8 において決定された変換則は、情報処理装置 8 の記憶部 8 5 の所定の保存領域に格納（保存）されて（ステップ S 3 0 9）、この画像補正処理を終了する。そして、この画像補正処理によるキャリブレーションを終了すると、力覚提示装置 2 は、通常モードである力覚提示処理（図 2 4 参照）を駆動中は実行する。このとき、各ジョイント部 2 0 5 の関節角度を検出し（ステップ S 1 0 1）、それに基づいて、ユーザの各指先位置を演算した後（ステップ S 1 0 2）、この演算結果及び上記ステップ S 3 0 9 において格納された変換則に基づいて、画像生成部 8 3 は、仮想空間画像を更新して生成する。

#### 【0 1 9 0】

例えば、上記第 2 の変換則を用いた場合、図 2 9 に示すように、ユーザの親指の位置に対して、人差し指の位置が力覚提示部 2 0 6 の厚さに対応したずれ量（距離）だけ近づいた状態で、ユーザの手は、仮想空間画像に取り込まれて仮想空間表示装置 5 に表示される。なお、この図 2 9（B）に示すように、仮想空間におけるユーザの指先の画像を補正する場合には、親指を固定し、人差し指の中手指節関節の回転角度（曲げ角度）で調整するのが好ましい。

なお、本実施形態では、具体的な画像の変換方法として、代表的な 2 つの変換方法を示したが、本発明はこれに限定されず、従来から知られる（公知の）いずれの変換方法が用いられてもよい。また、本発明では、予め計測された力覚提示部 2 0 6 の厚みに基づいて、上記関節角度のずれ量を演算してもよい。

#### 【0 1 9 1】

以上のように、本発明における力覚提示装置 2、力覚提示システム及び画像補正方法は、ユーザの手（指先）が基準姿勢にある場合における各ジョイント部 2 0 5 の関節角度と、ユーザの指先が実摘み位置にある場合における各ジョイント部 2 0 5 の関節角度とをエンコーダ 2 0 8 を用いて検出するとともに、実摘み位

置から演算された仮想摘み位置における各ジョイント部 205 の関節角度を演算し、検出結果及び演算結果に基づいて、実摘み位置と仮想摘み位置の間における各ジョイント部 205 の関節角度のずれ量を演算し、その演算されたずれ量に基づいて変換則を決定するように構成される。そして、本発明の画像補正方法によりユーザ毎にキャリブレーションを取った後、力覚提示装置 2 及び力覚提示システム 1 は、通常の力覚提示方法（例えば、図 24 のフローチャートに示す力覚提示処理）によって、本発明の力覚提示装置 2 を装着しているユーザの指先に力覚を提示する。

#### 【0192】

したがって、本発明の力覚提示装置 2、力覚提示システム 1 及び画像補正方法によって、実空間では力覚提示部 206 の厚みが存在するために到達不可能（表現不可能）であった力覚が提示されている部位（本実施形態では、ユーザの指先）の位置や姿勢まで仮想空間において表現することができる。それにより、仮想空間において、ユーザの位置・姿勢などの自然な状態を表現することができる。

#### 【0193】

また、本発明の力覚提示装置 2 及び力覚提示システム 1 では、本発明の画像補正方法（画像補正処理）において得られた関節角度のずれ量をそれ以後の力覚提示処理などにおいて適用する際、仮想空間画像におけるユーザの指先の画像の補正は、主に親指以外の各指の中手指節関節の回転角度によって調整することとしたので、本発明の仮想空間画像は、簡便な方法で（高度な画像補正処理を必要とせず）、自然な表現が可能となる。

#### 【0194】

なお、第 5 実施形態では、ユーザの親指と人差し指の各指先について、本発明の画像補正方法（画像補正処理）を適用した場合について説明したが、本発明は、この場合に限らず、例えば、親指と中指、あるいは親指と薬指のように、掴む動作をした際に接触するであろう任意の 2 本の指の指先に対して適用することができる。

#### 【0195】

また、第 5 実施形態では、本発明の力覚提示装置 2 の力覚提示部 206 を装着

したユーザの2本の指先におけるキャリブレーションについて説明したが、本発明の画像補正方法は、このような場合（状態）のみに限定されず、例えば、仮想空間中の対象物とユーザの各指の指先との干渉（接触）においても適用可能である。この場合、その対象物に接触している各指先に本発明が適用され、仮想空間画像においてユーザの指先の位置を補正した画像が、情報処理装置8の画像生成部83によって生成されることとなる。

なお、本発明では、前記各実施形態の任意の2以上の構成（特徴）を適宜組み合わせてもよい。すなわち、本発明では、第5実施形態の力覚提示装置2に他の実施形態の触覚発生部21などを組み合わせてもよい。

#### 【0196】

また、本発明の力覚提示システム1は、情報処理装置8の画像生成部83によって仮想空間画像を生成し、その仮想空間画像を仮想空間表示装置5に表示するように構成されているが、本発明は仮想空間において適用する場合に限らず、例えば、仮想空間画像を表示せずに、力覚提示装置2と情報処理装置8のみによって構成されてもよい。また、本発明の力覚提示システム1は、上記各装置を一体的に1つの装置、すなわち、力覚提示装置のみとして構成してもよい。

以上、本発明の力覚提示装置及び力覚提示システムの構成を、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の力覚提示装置及びその力覚提示装置を有する力覚提示システムの第1実施形態の構成例を示す概念図である。

【図2】 図1に示すリアルグローブの回路構成例を示すブロック図である。

【図3】 図1に示すリアルグローブの外観構成例を示す外観図（一部図示を省略）である。

【図4】 図1に示すリアルグローブの触覚発生部の構成例を示す縦断面図である。

【図5】 図1に示すリアルグローブの力覚発生部の構成例を示す外観図で

ある。

【図 6】 図 1 に示すリアルグローブの力覚発生部の構成例を示す外観図である。

【図 7】 図 1 に示すリアルグローブの位置姿勢検出部の構成例を示すブロック図である。

【図 8】 図 1 に示す仮想空間表示装置の外観構成例を示す斜視図である。

【図 9】 図 1 に示す仮想空間表示装置の回路構成例を示すブロック図である。

【図 1 0】 図 1 に示す仮想空間表示装置の凹凸入力部の構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。

【図 1 1】 図 1 に示す仮想空間表示装置の画像表示部の構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。

【図 1 2】 図 1 に示す仮想空間表示装置の視線検出部の構成例を示す図（ブロック図、模式図）である。

【図 1 3】 図 1 に示す情報処理装置の回路構成例を示すブロック図である。

【図 1 4】 第 2 実施形態における力覚提示装置の触覚発生部の構成例を示す縦断面図である。

【図 1 5】 第 3 実施形態における力覚提示装置のリアルグローブの外観構成例を示す外観図（一部図示を省略）である。

【図 1 6】 第 4 実施形態における力覚提示装置の位置姿勢検出部の構成例を示すブロック図である。

【図 1 7】 第 4 実施形態における力覚提示装置の位置姿勢検出部の構成例を示す外観図（一部図示を省略）である。

【図 1 8】 図 1 7 に示す位置姿勢検出部の Z 方向検出センサの構成例を示す外観図である。

【図 1 9】 第 5 実施形態における力覚提示装置を概略的に示す斜視図である。

【図 2 0】 図 1 9 に示す力覚提示装置の 1 つの指に対応するアーム部の拡

大図である。

【図 2 1】 図 2 0 に示すアーム部のジョイント部の断面図である。

【図 2 2】 図 2 0 に示すアーム部の指を挿入する力覚提示部の拡大図である。

【図 2 3】 本発明の一実施形態における図 2 0 に示す力覚提示部の断面図である。

【図 2 4】 本発明の力覚提示処理を示すフローチャートである。

【図 2 5】 本発明のコントラスト提示処理を示すフローチャートである。

【図 2 6】 本発明の画像補正処理を示すフローチャートである。

【図 2 7】 力覚提示手段を装着した 2 本の指で紙を掴む場合の概念図（補正前）である。

【図 2 8】 力覚提示手段を装着した 2 本の指を接触させた場合の概念図（補正後）である。

【図 2 9】 本発明の画像補正処理で人差し指を補正した場合の概念図（補正前後）である。

#### 【符号の説明】

1……力覚提示システム、2……力覚提示装置、2 a……手袋、2 b……フレームホルダ、2 c……フレームカバー、2 d……腕固定部、2 0……リアルグローブ、2 0 a……筒状部、2 0 0……アーム部、2 0 1……モータ、2 0 1 a……モータ軸、2 0 2……クラッチ、2 0 3……リンク、2 0 4……連結部、2 0 5……ジョイント部、2 0 6……力覚提示部、2 0 7……ワンウェイクラッチ、2 0 8……エンコーダ、2 0 9……ピン駆動による触覚提示部、2 1……触覚発生部、2 1 a……開口、2 1 d……腕固定部本体、2 1 0……単位触覚発生部、2 1 1……動力発生部、2 1 1 a……モータ、2 1 2……アクチュエータワイヤ、2 1 2 a……束、2 1 3……ワイヤ保持部、2 1 4……触覚提示ピン、2 1 4 a……接触板、2 1 4 b……支持部、2 1 5……触覚提示ピン支持部、2 1 6……触覚提示部、2 1 6 a……第 1 の板片、2 1 6 b……第 2 の板片、2 1 6 c……接触部、2 1 7……ガイド部、2 1 8……押え板、2 2……力覚発生部、2 2 d……エアー注入部、2 2 1……フレーム、2 2 2……リンクモータ、2 3……

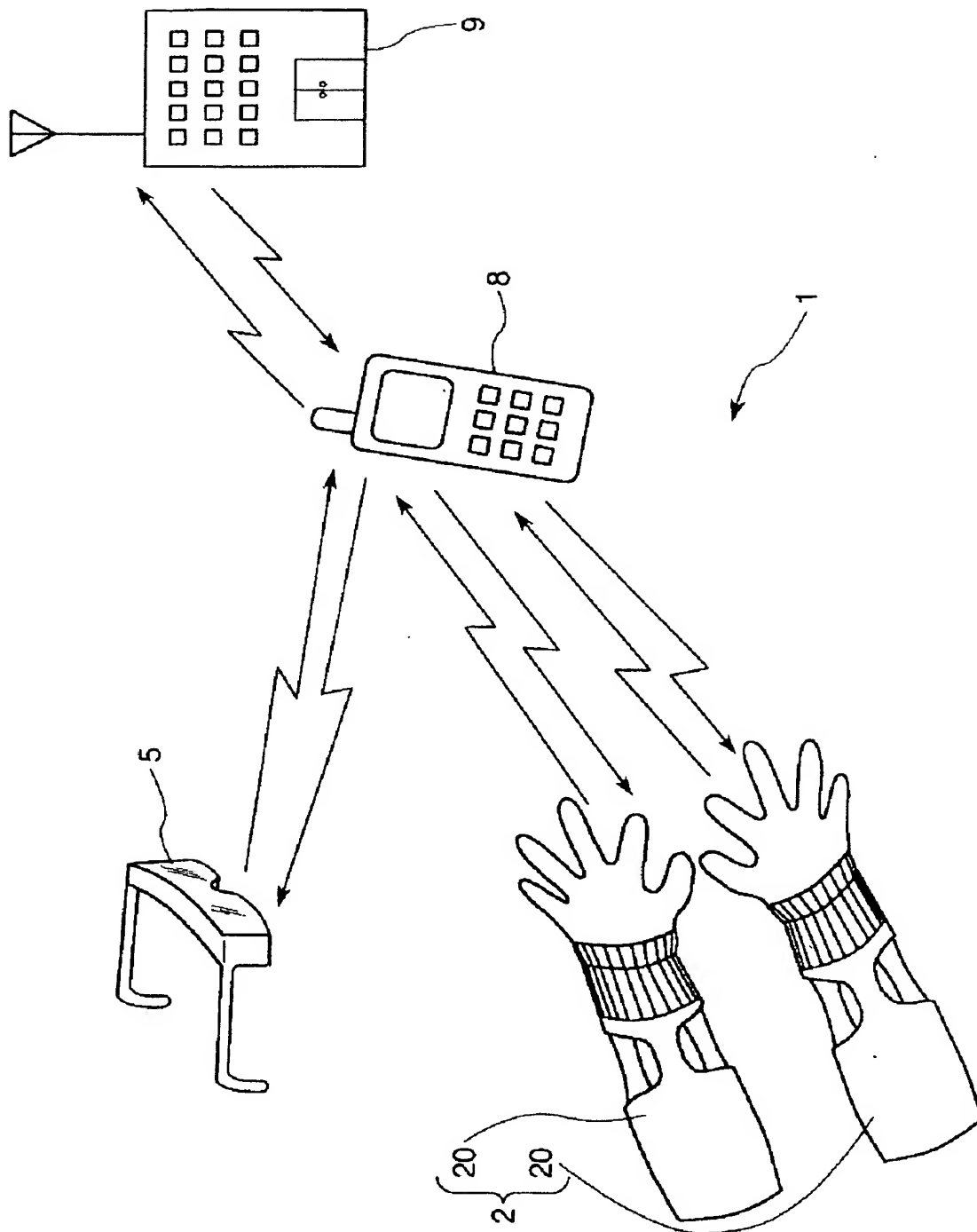
位置姿勢検出部、2 3 d ……蓋体、2 3 1 ……X 方向検出コイル、2 3 2 ……Y 方向検出コイル、2 3 3 ……Z 方向検出コイル、2 4 ……制御部、2 5 ……信号処理部、2 5 1 ……増幅部、2 5 2 ……A/D 変換部、2 6 ……信号送受信部、2 7 ……遊び吸収部、2 8 ……手首固定部、2 9 ……ねじれ吸収部、2 9 1 ……帯状部、2 9 2 ……開口、3 0 ……電力供給部、5 ……仮想空間表示装置、5 1 a、5 1 b ……画像表示部、5 1 1 ……レンズ、5 1 2 ……レンズ移動機構、5 1 3 ……ステッピングモータ、5 1 4 ……モータ制御部、5 1 5 ……液晶表示パネル、5 1 6 ……液晶駆動部、5 1 7 ……バックライト、5 1 8 ……バックライト制御部、5 1 9 ……トランジスタ、5 2 a、5 2 b ……視線検出部、5 2 1 ……ハーフミラー、5 2 2 ……フィルタ、5 2 3 ……レンズ、5 2 4 ……CCD、5 2 5 ……CCD 制御部、5 2 6 ……CCD 出力増幅部、5 2 7 ……LED、5 2 8 ……LED 制御部、5 2 9 ……トランジスタ、5 3 a、5 3 b ……凹凸入力部、5 3 1 ……レンズ、5 3 2 ……CCD、5 3 3 ……CCD 制御部、5 3 4 ……CCD 出力増幅部、5 4 ……制御部、5 5 ……信号送受信部、5 6 ……位置姿勢検出部、5 7 ……装着部、5 8 ……信号処理部、5 9 ……三次元加速度センサ、6 0 ……ケーシング、6 1 ……X 方向検出センサ、6 2 ……Y 方向検出センサ、6 3 ……Z 方向検出センサ、6 4 ……エリンバー、6 5 ……振動用圧電素子、6 6 ……検出用圧電素子、6 7、6 8 ……ワイヤ、6 9 ……交流電源、8 ……情報処理装置、8 1 ……演算処理部、8 2 ……衝突判定部、8 3 ……画像生成部、8 4 ……制御部、8 5 ……記憶部、8 6 ……信号処理部、8 7 ……信号送受信部、8 8 ……磁界発生部、9 ……基地局



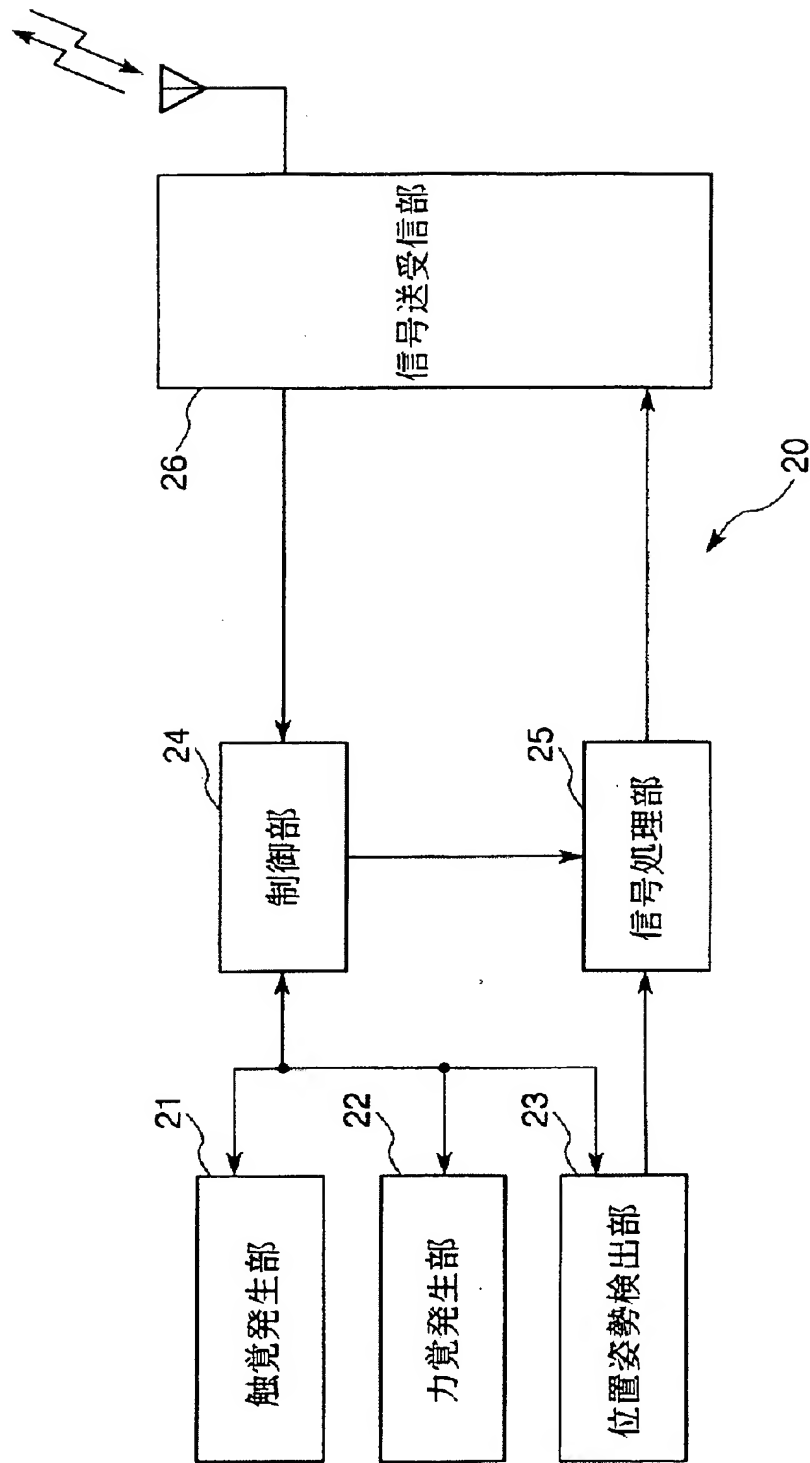
【書類名】

図面

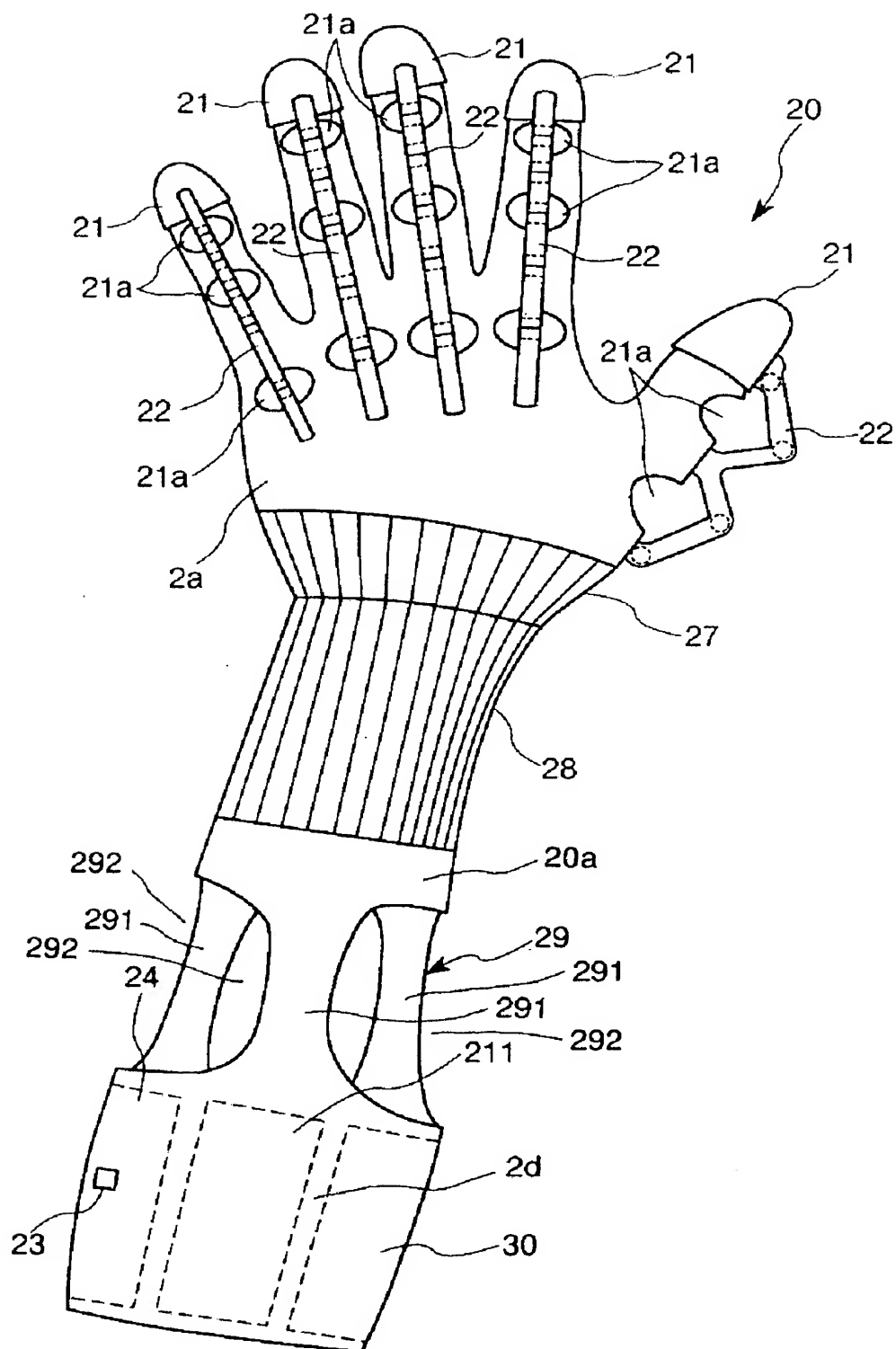
【図 1】



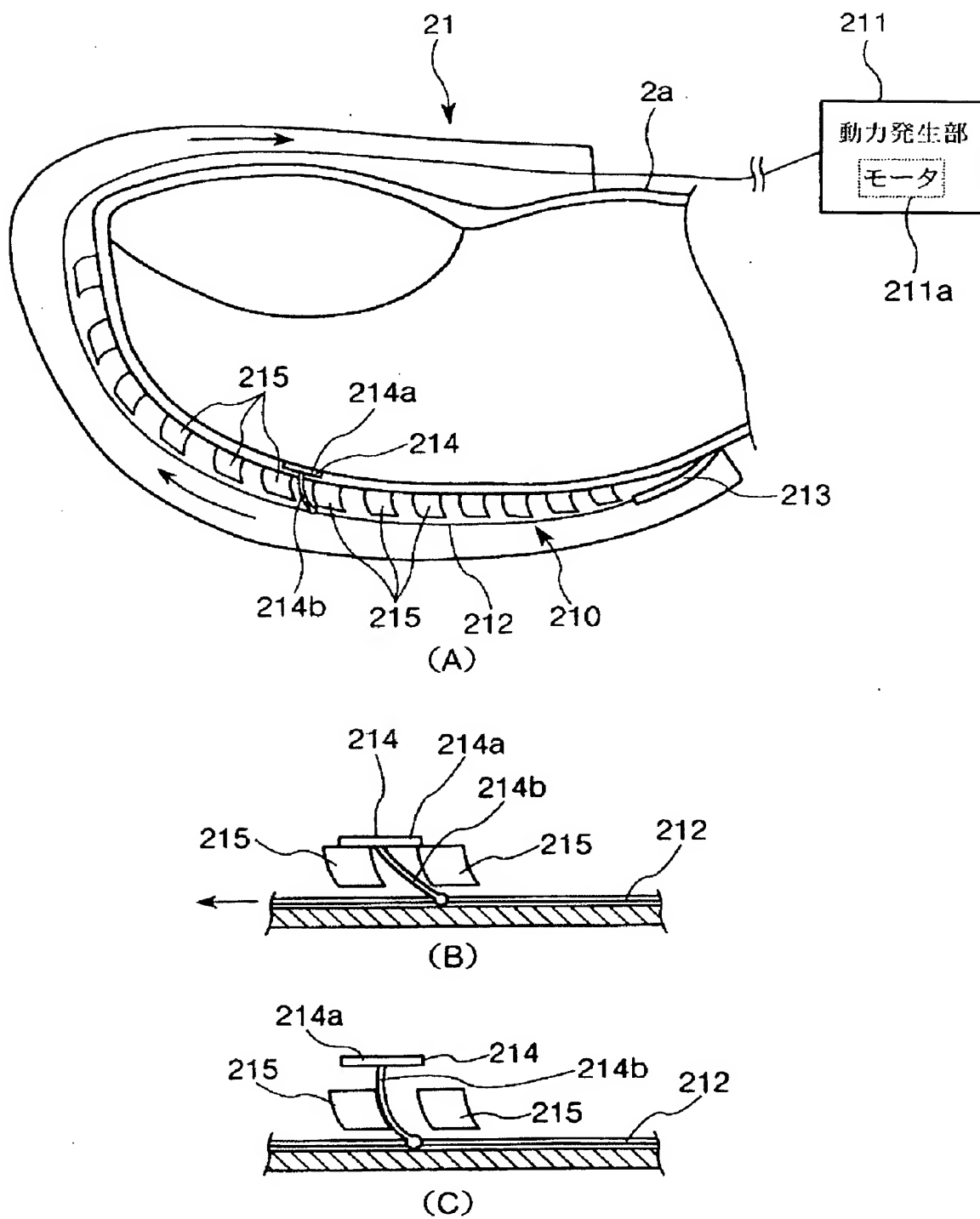
【図 2】



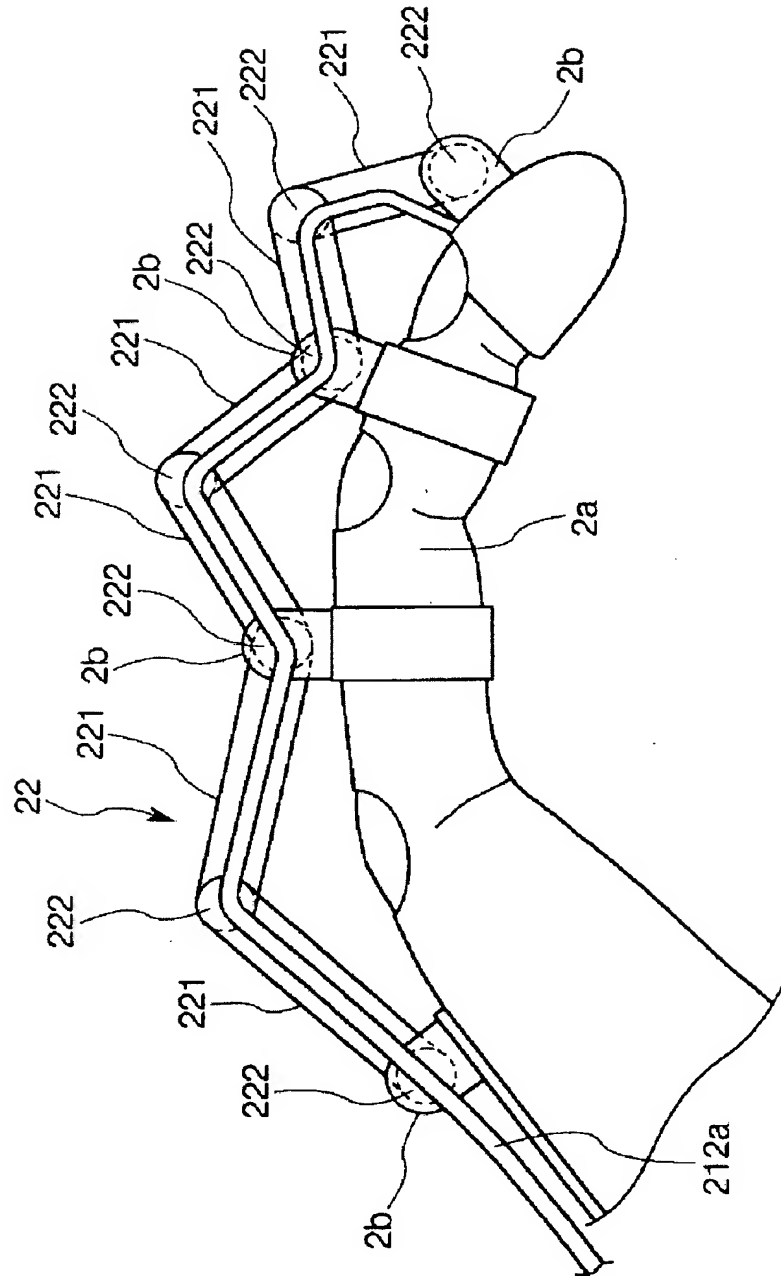
【図 3】



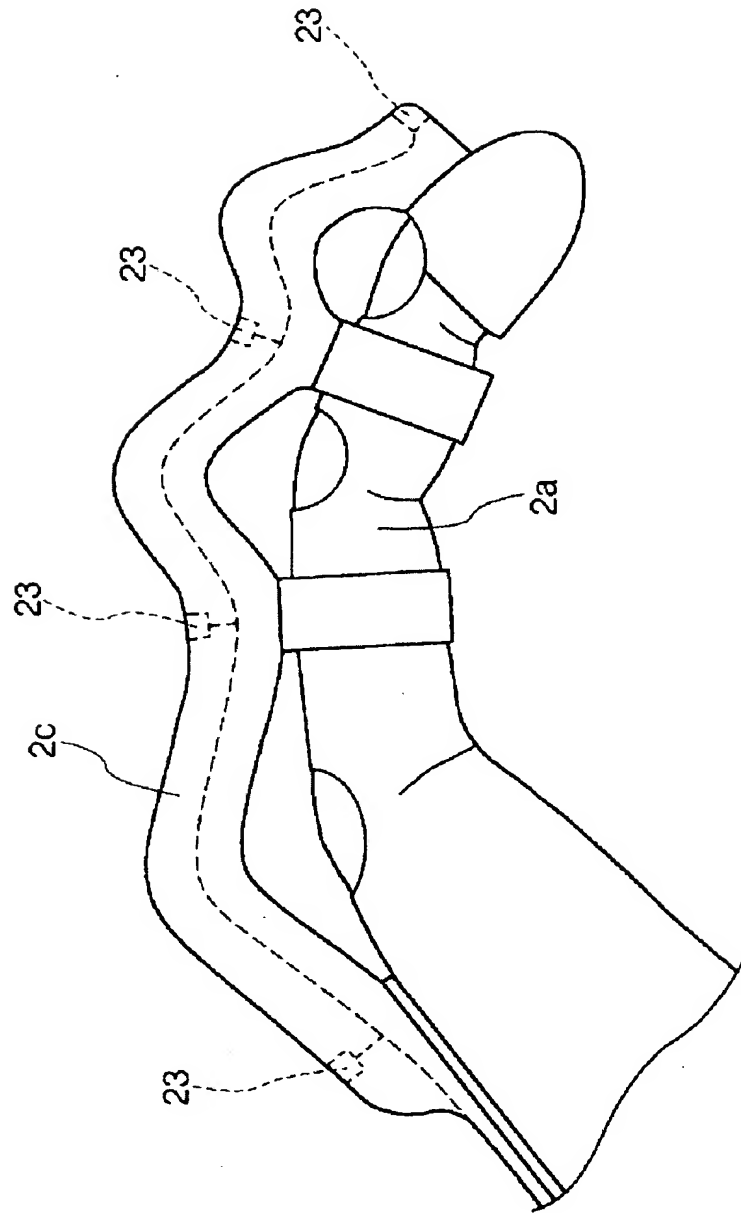
【図 4】



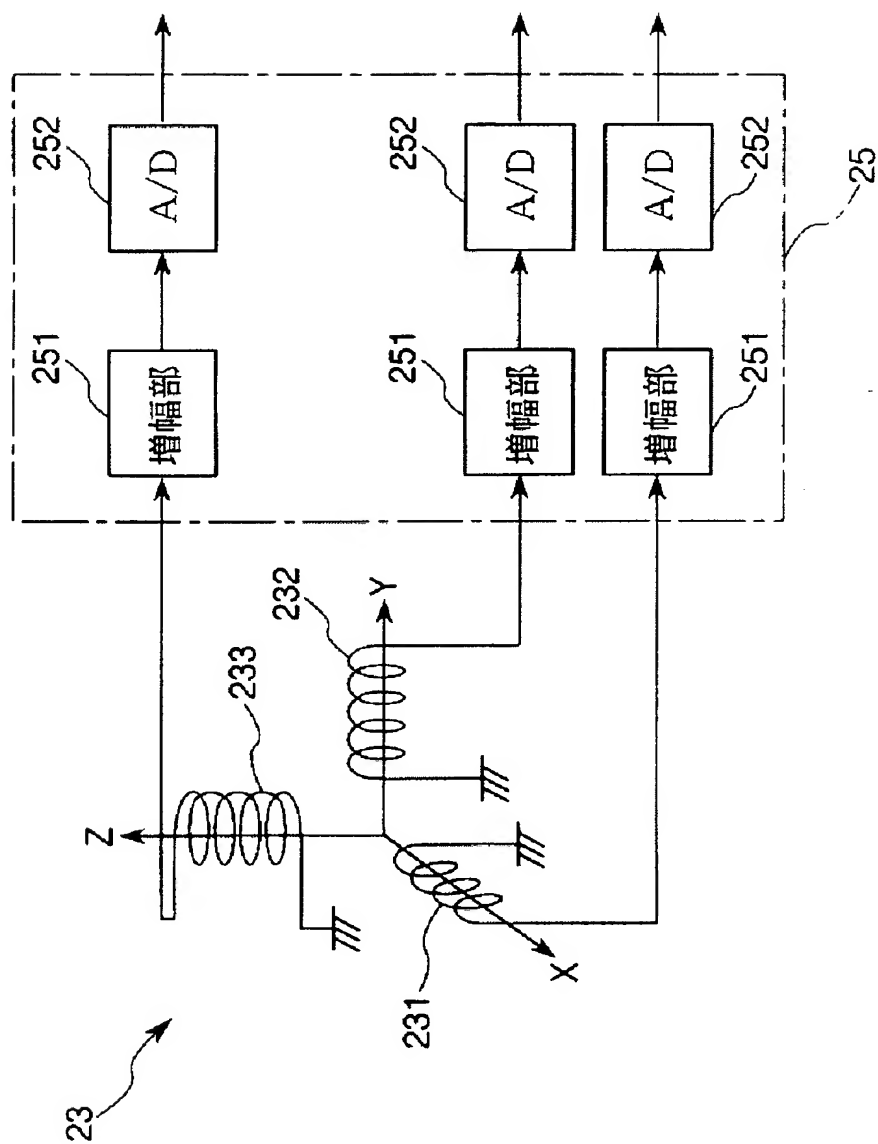
【図 5】



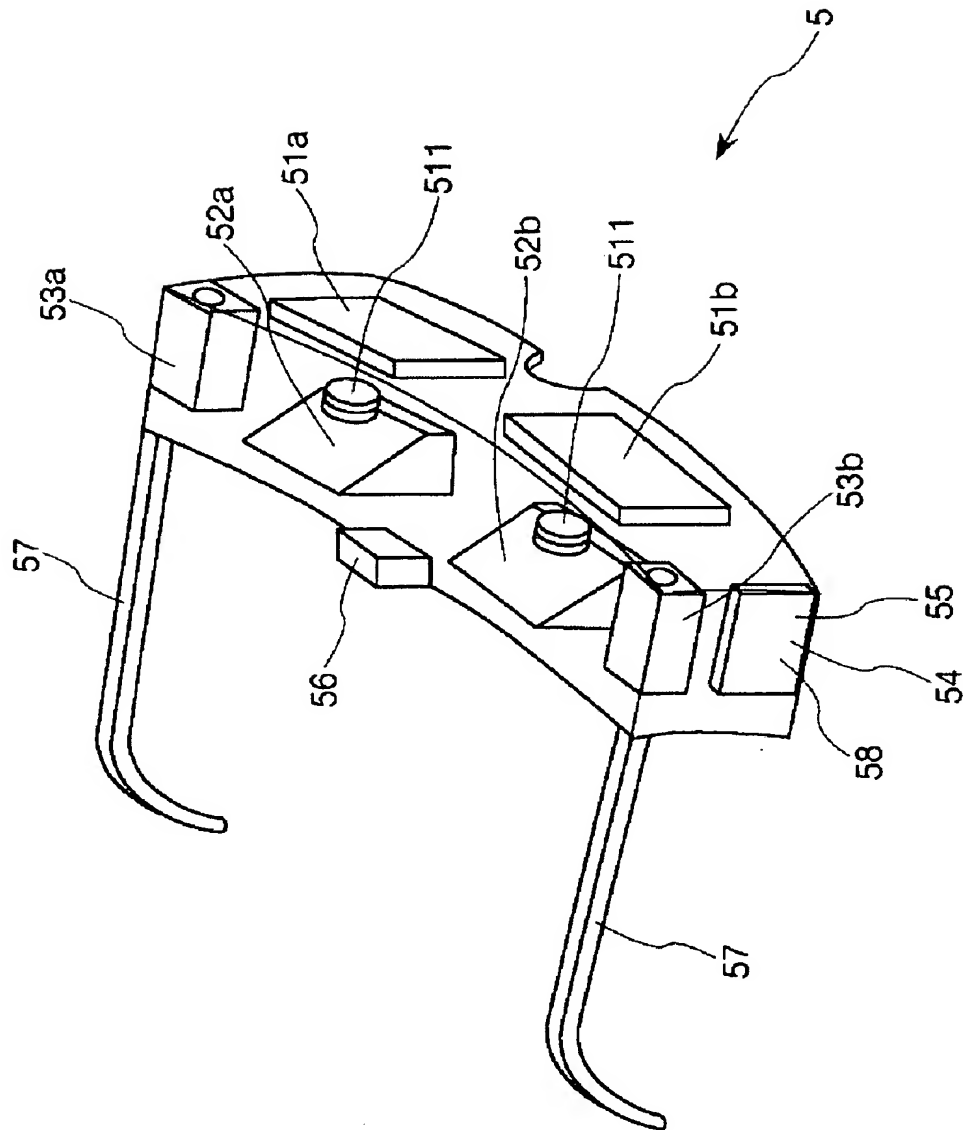
【図 6】



【図 7】

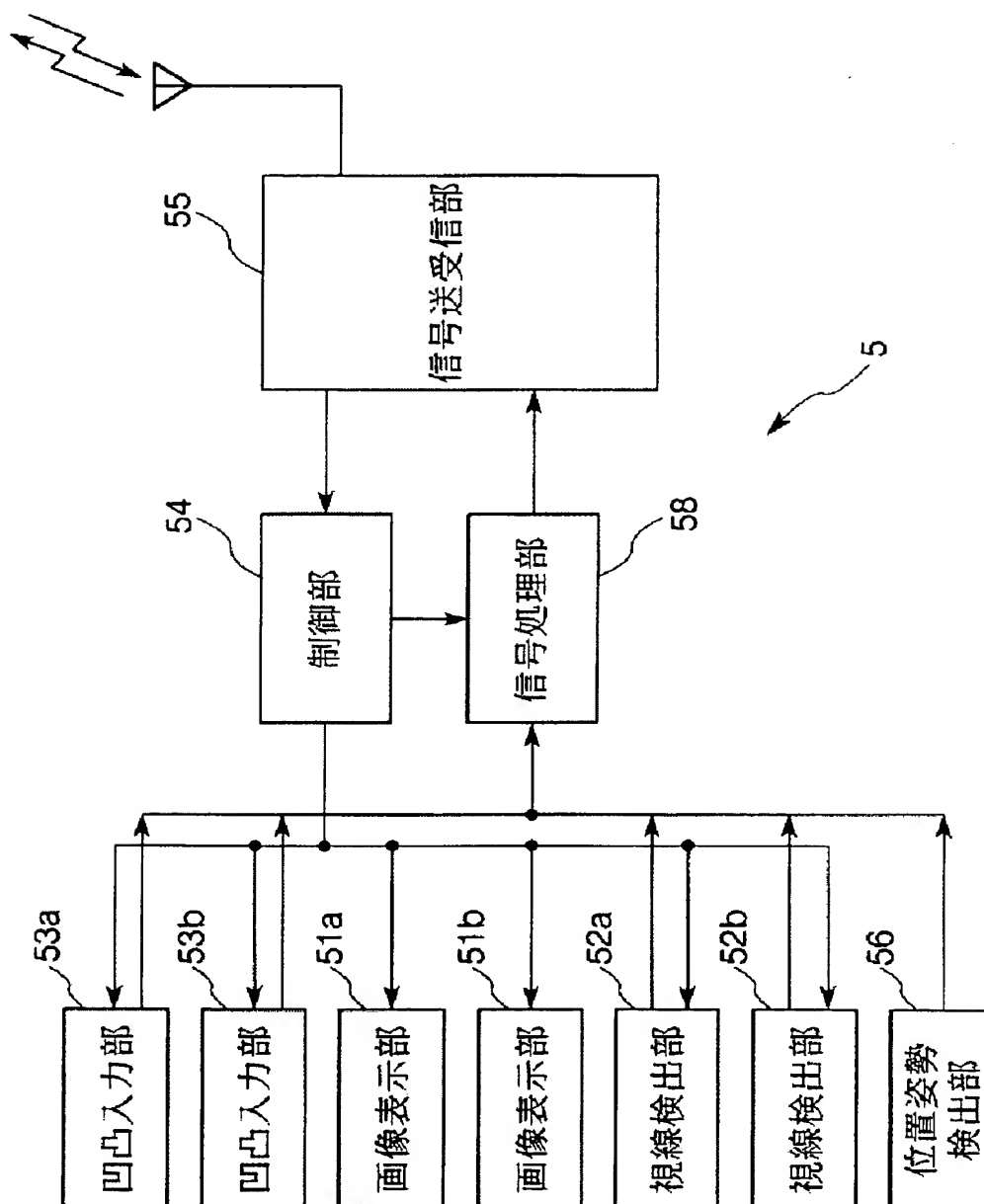


【図 8】

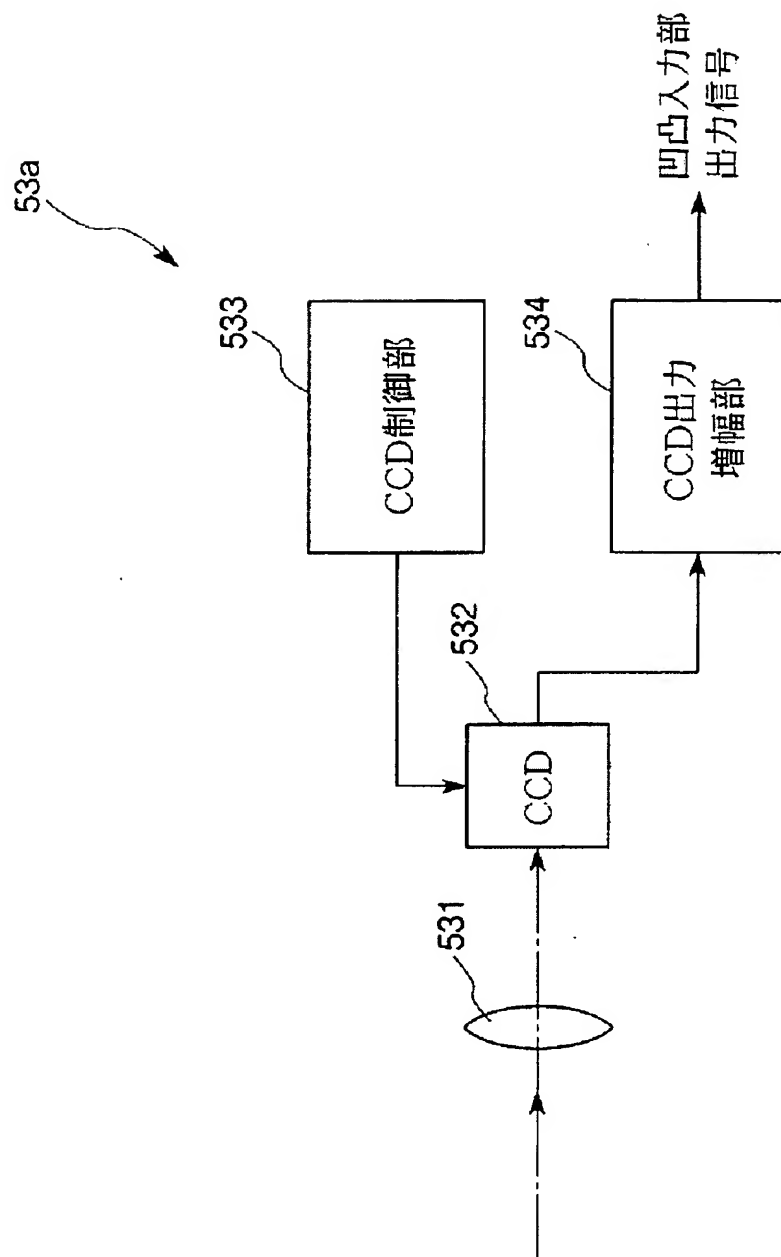




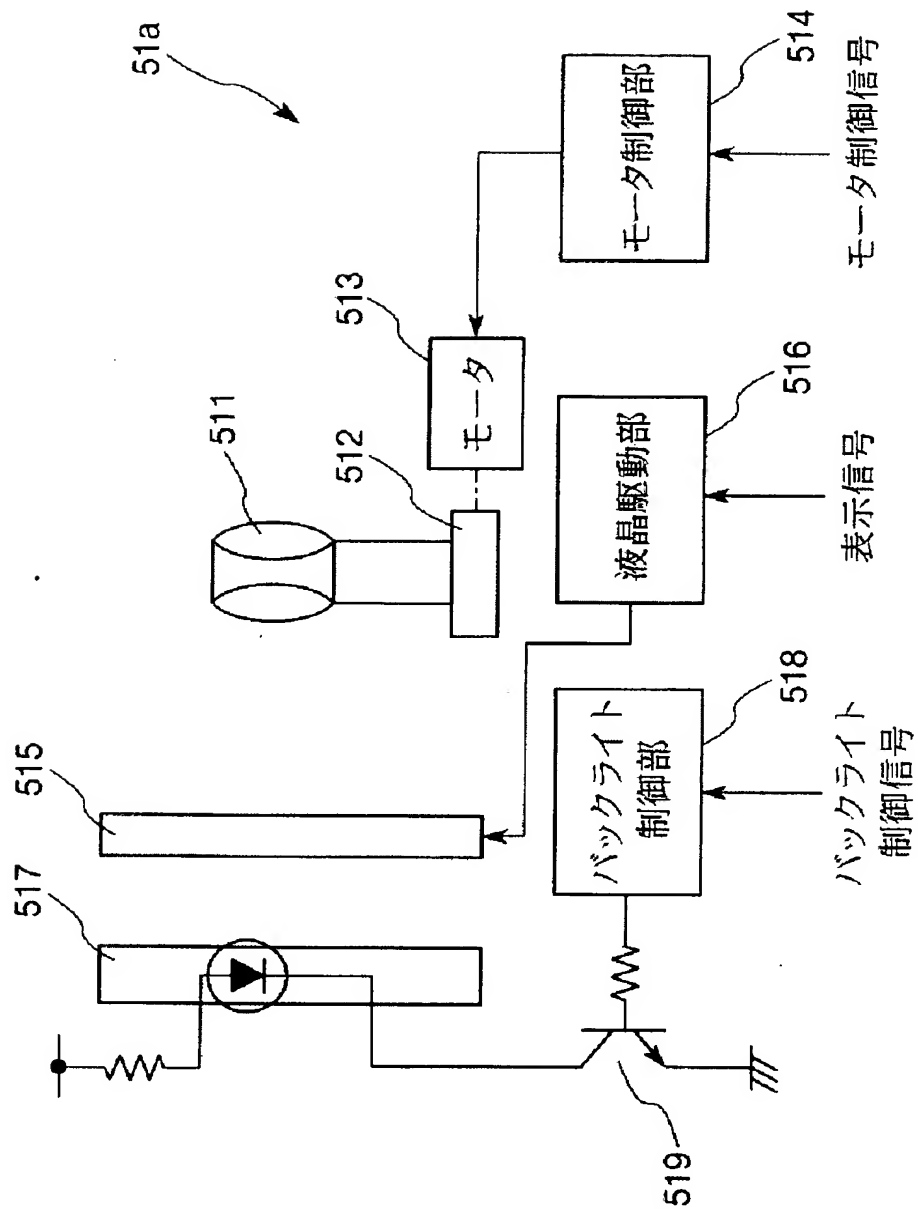
【図 9】



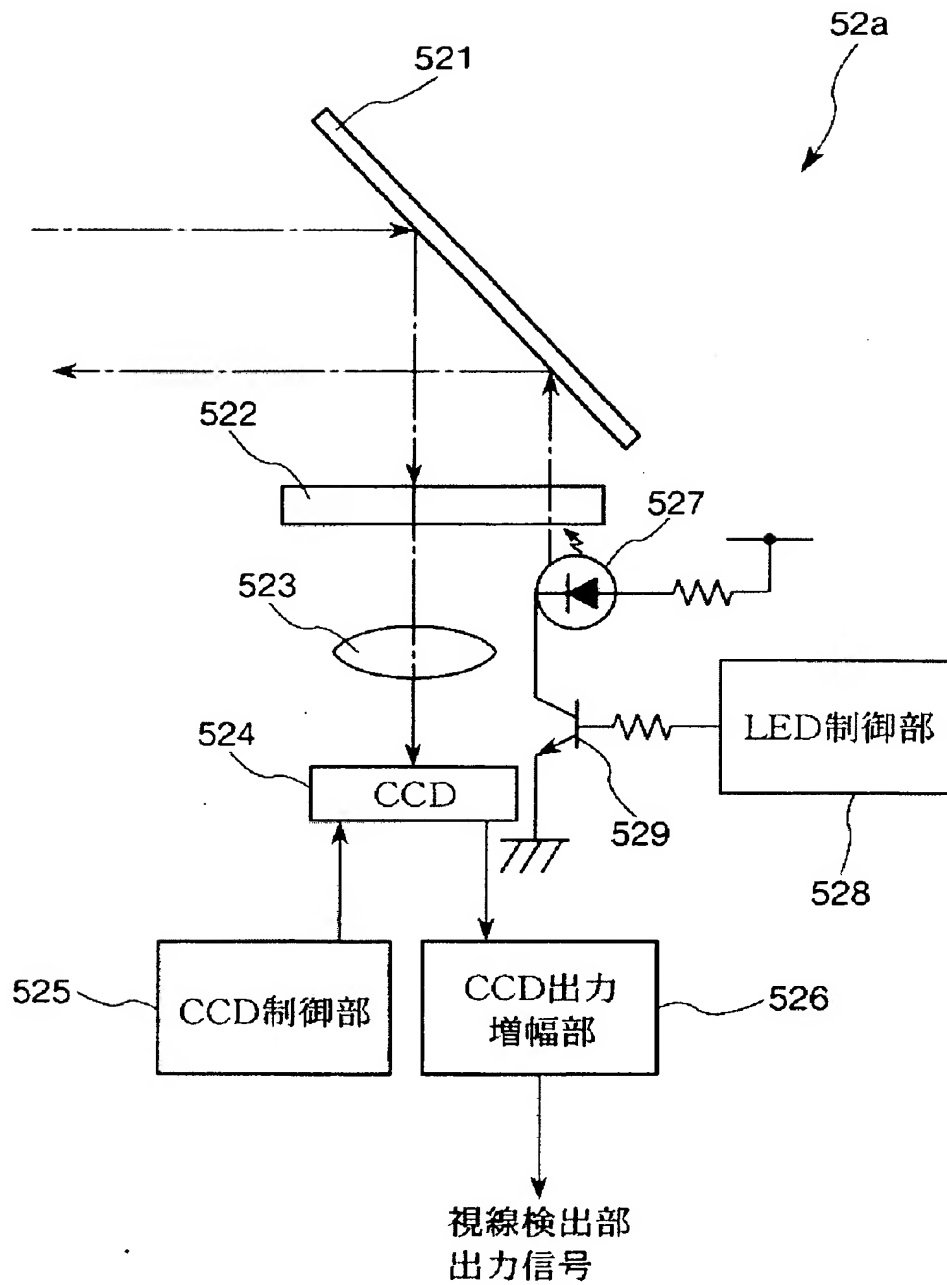
【図 10】



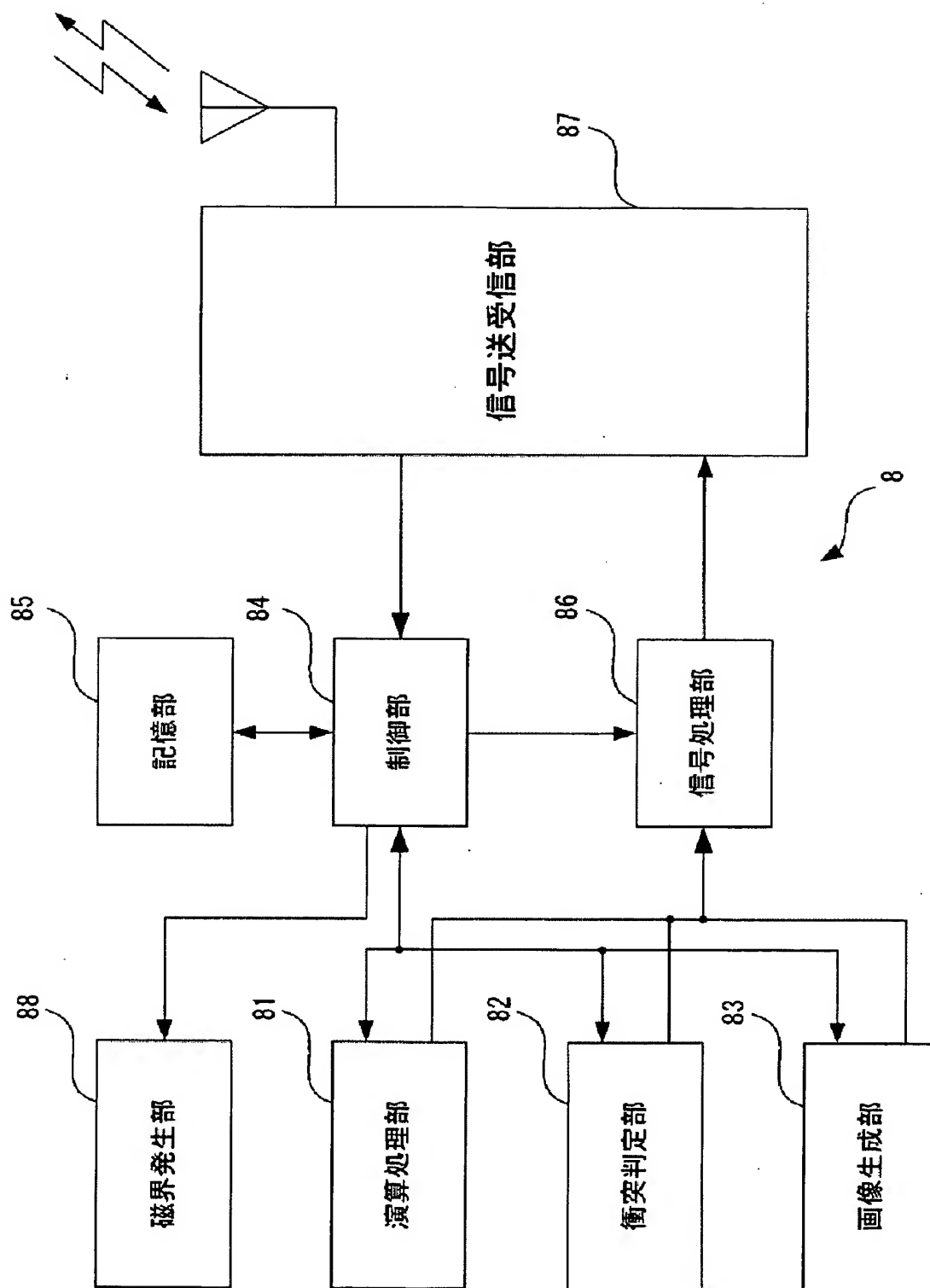
【図 11】



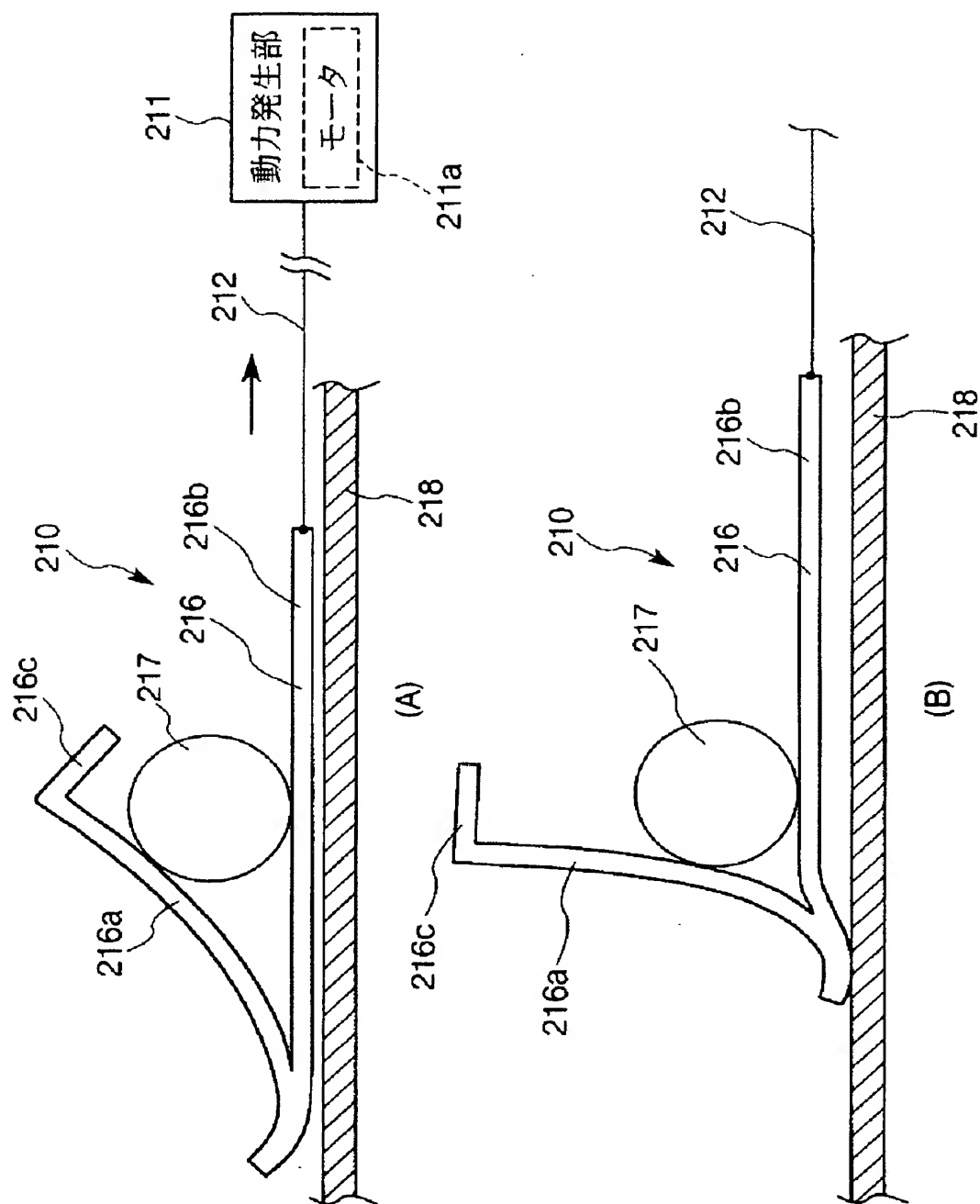
【図 12】



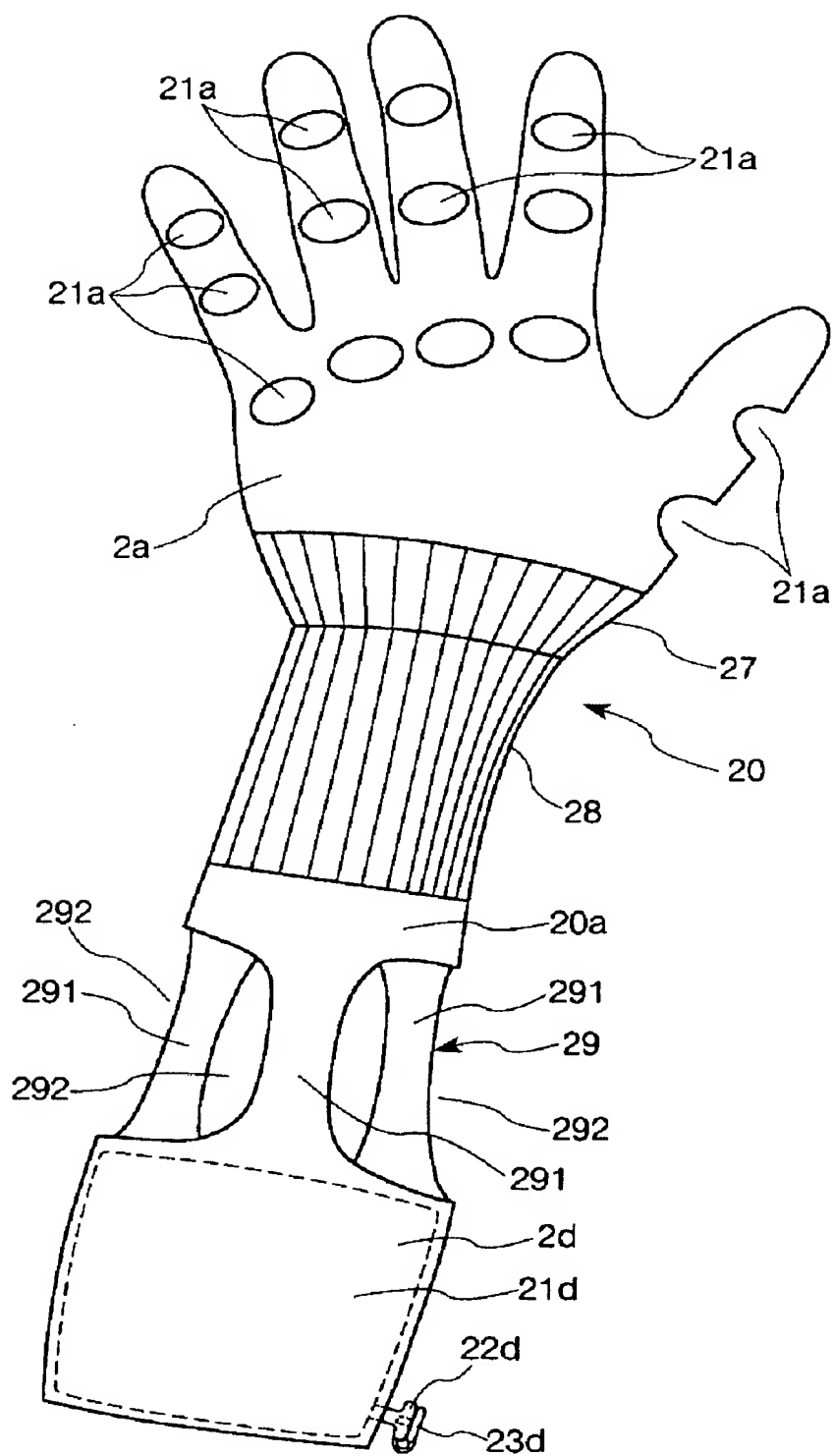
【図 13】



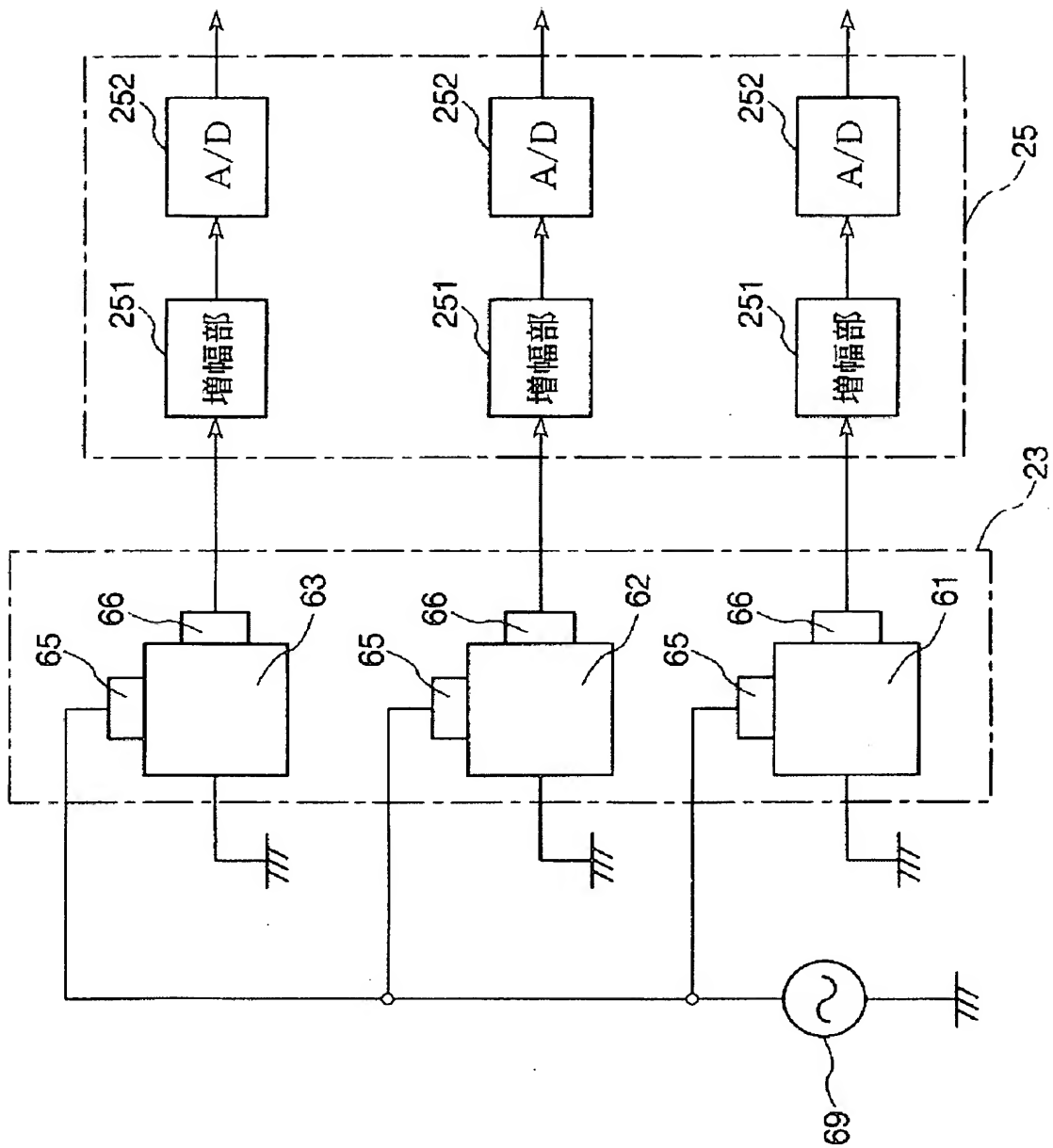
【図 14】



【図 15】

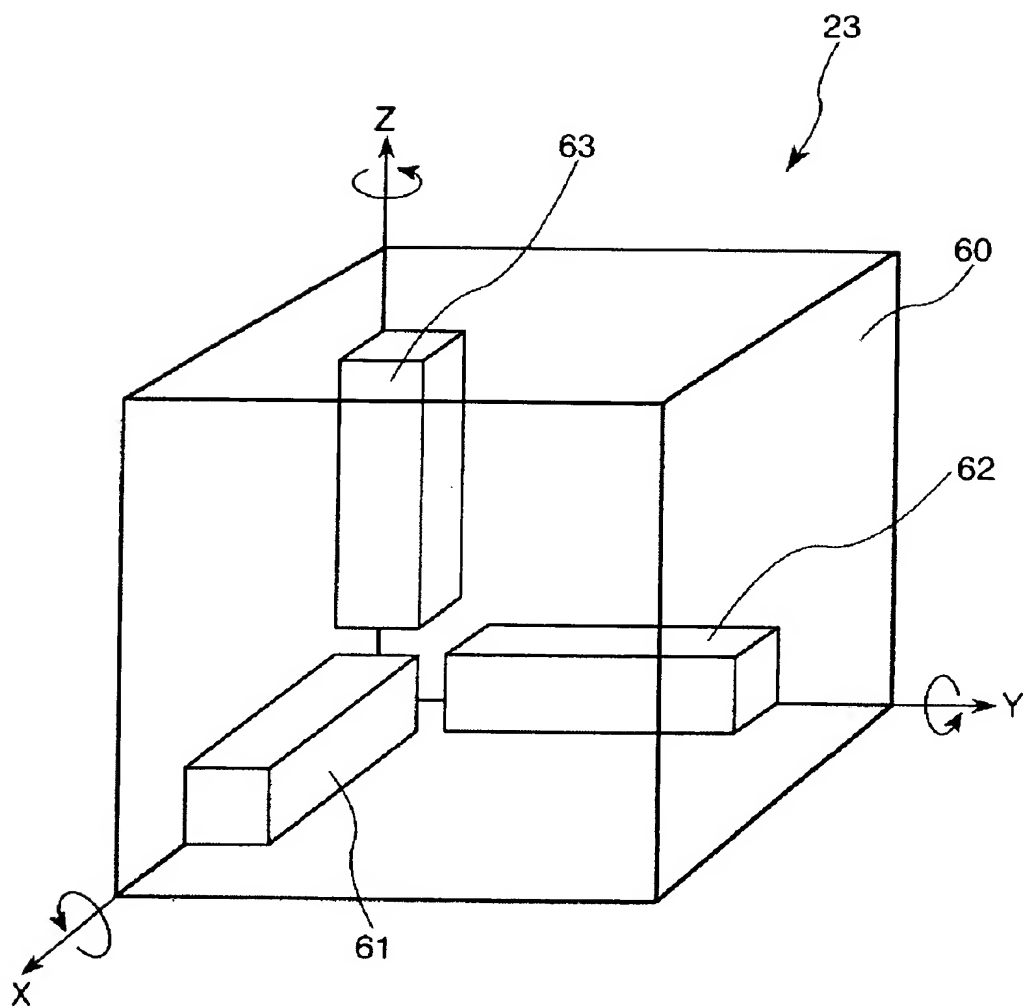


【図 16】

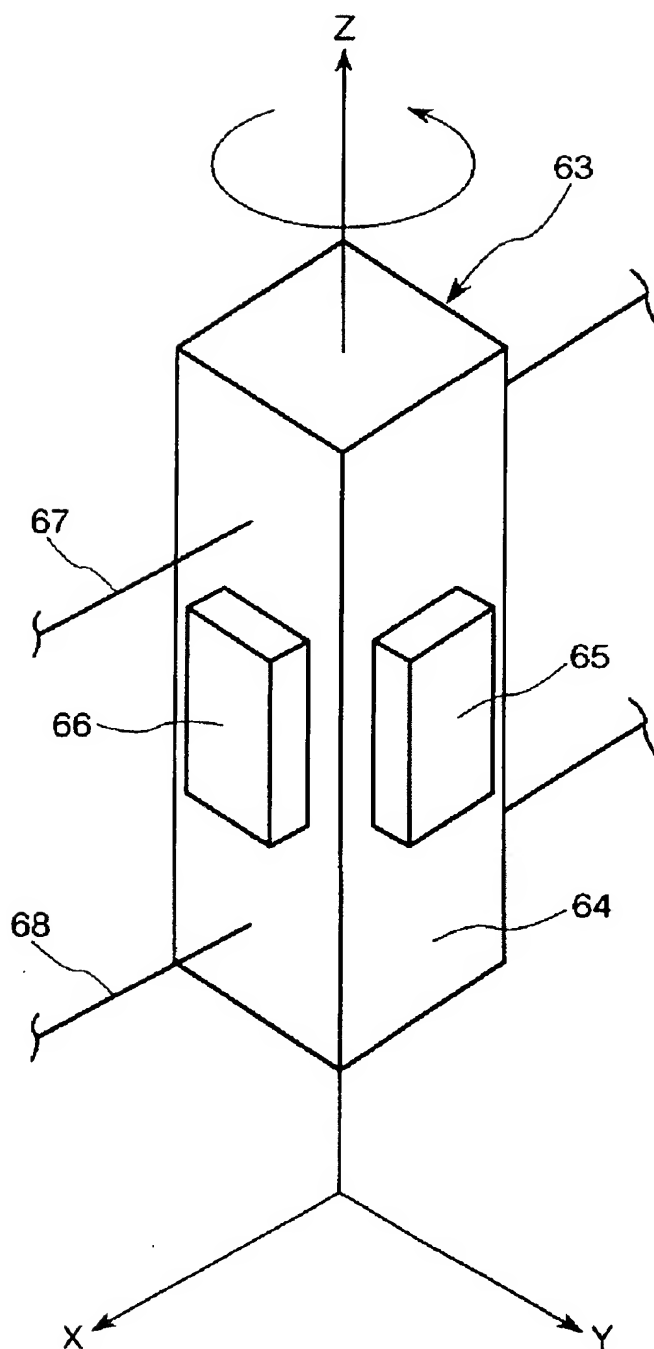




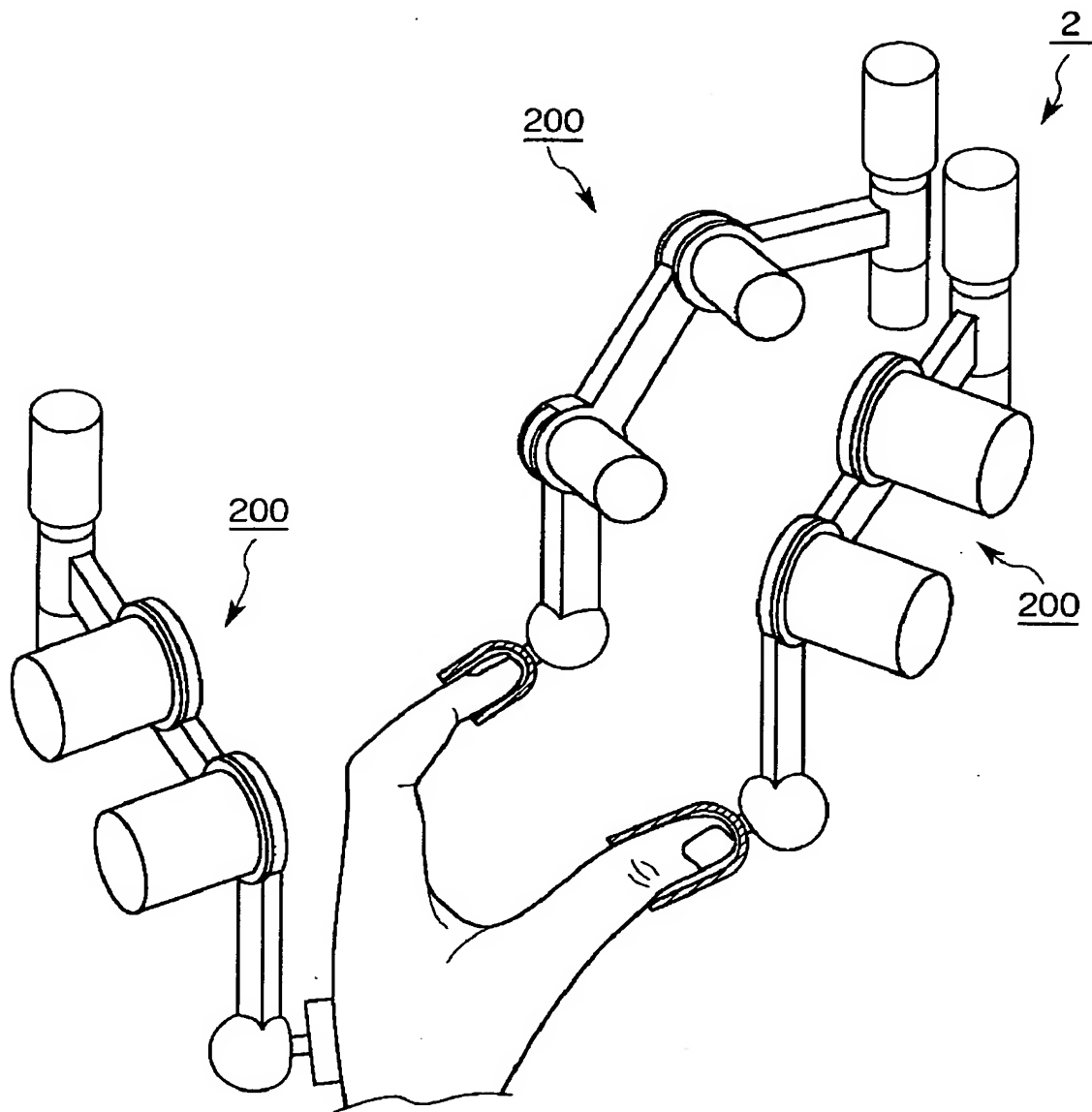
【図 17】



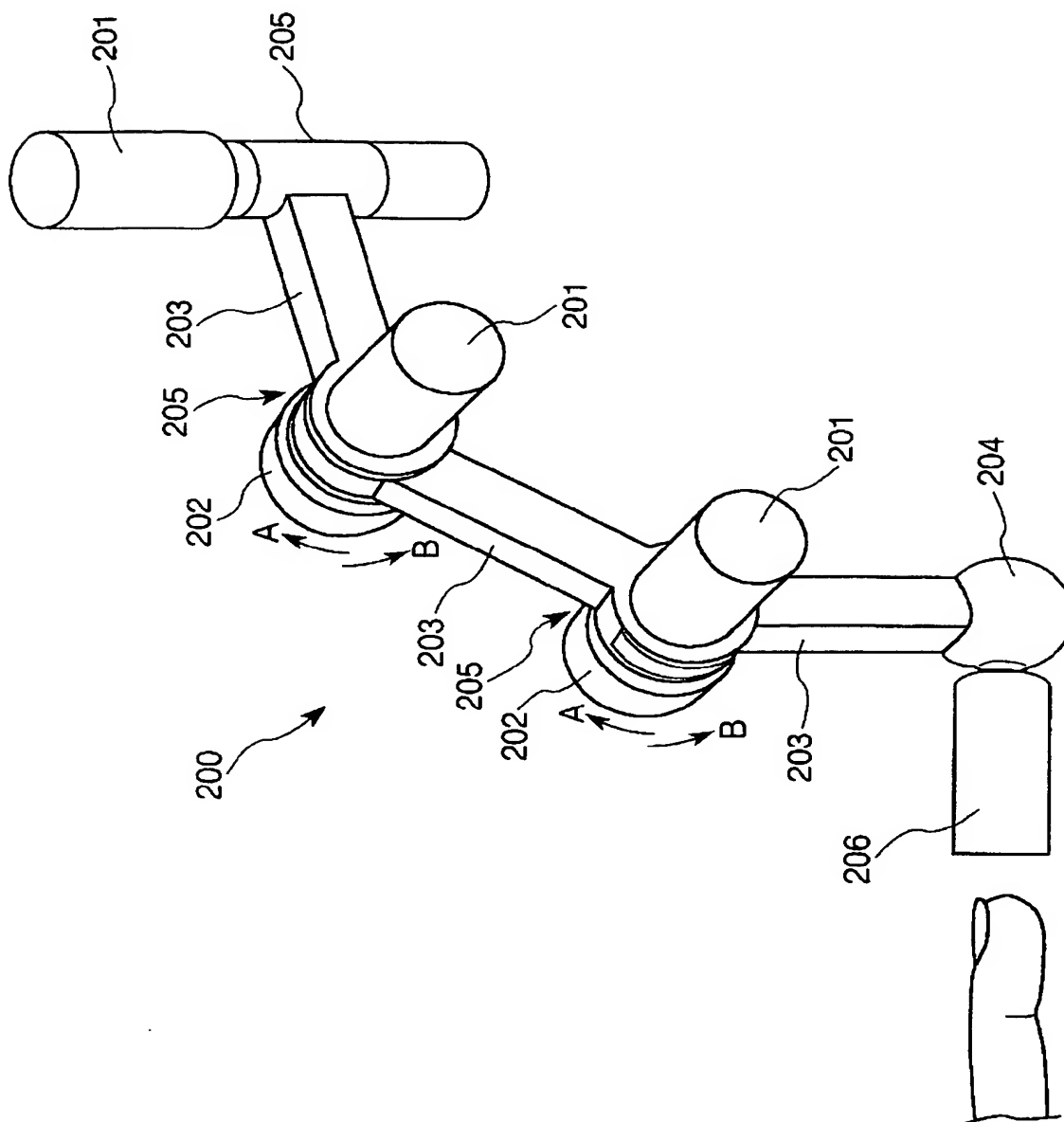
【図 18】



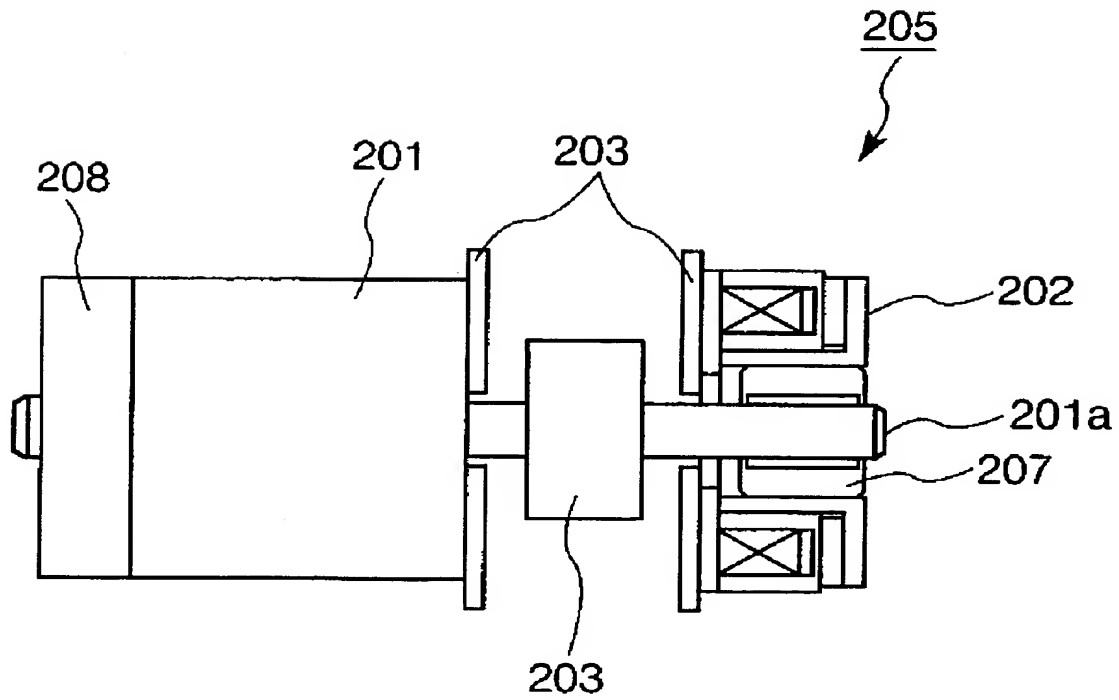
【図 19】



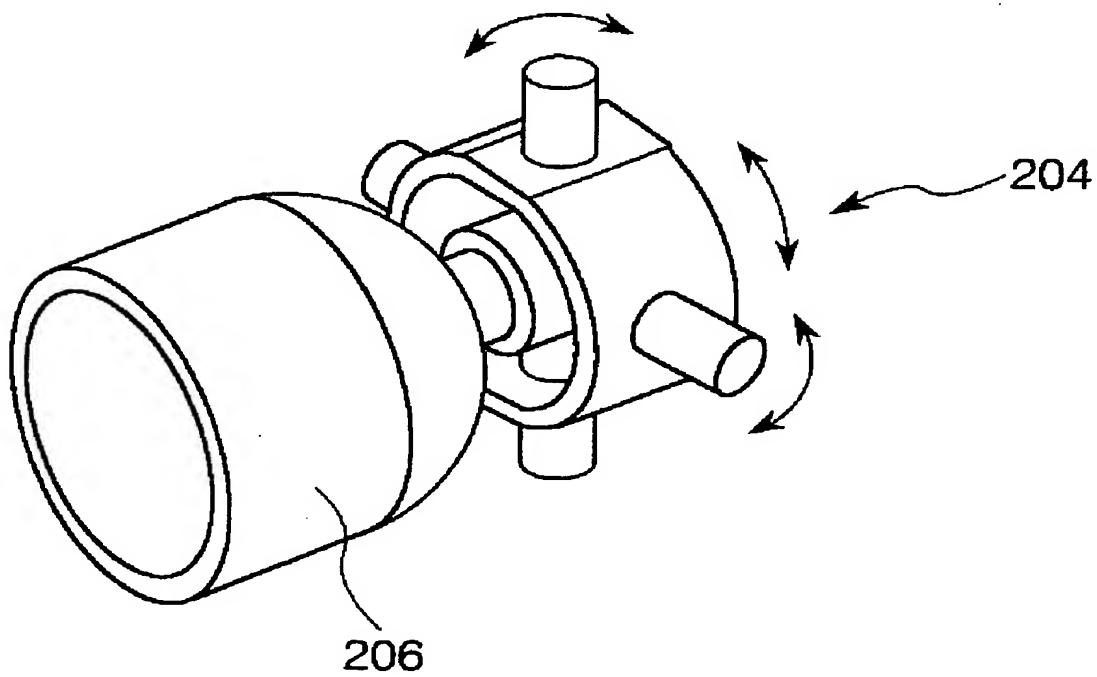
【図 20】



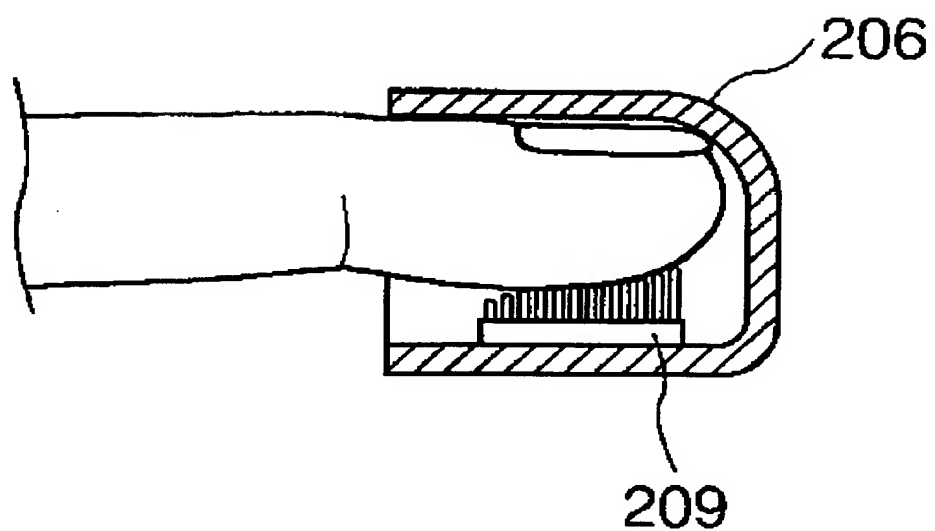
【図 2 1】



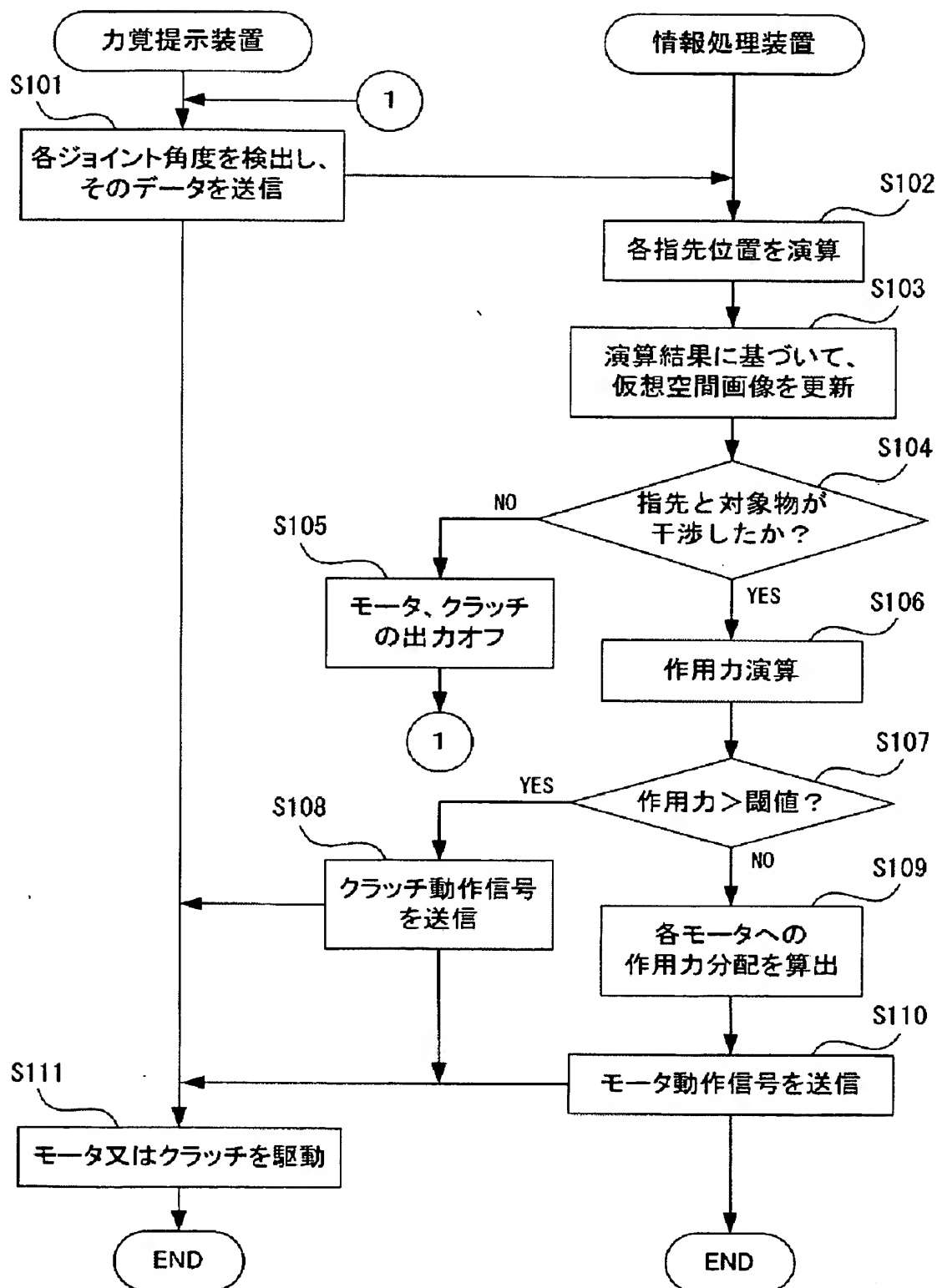
【図 2 2】



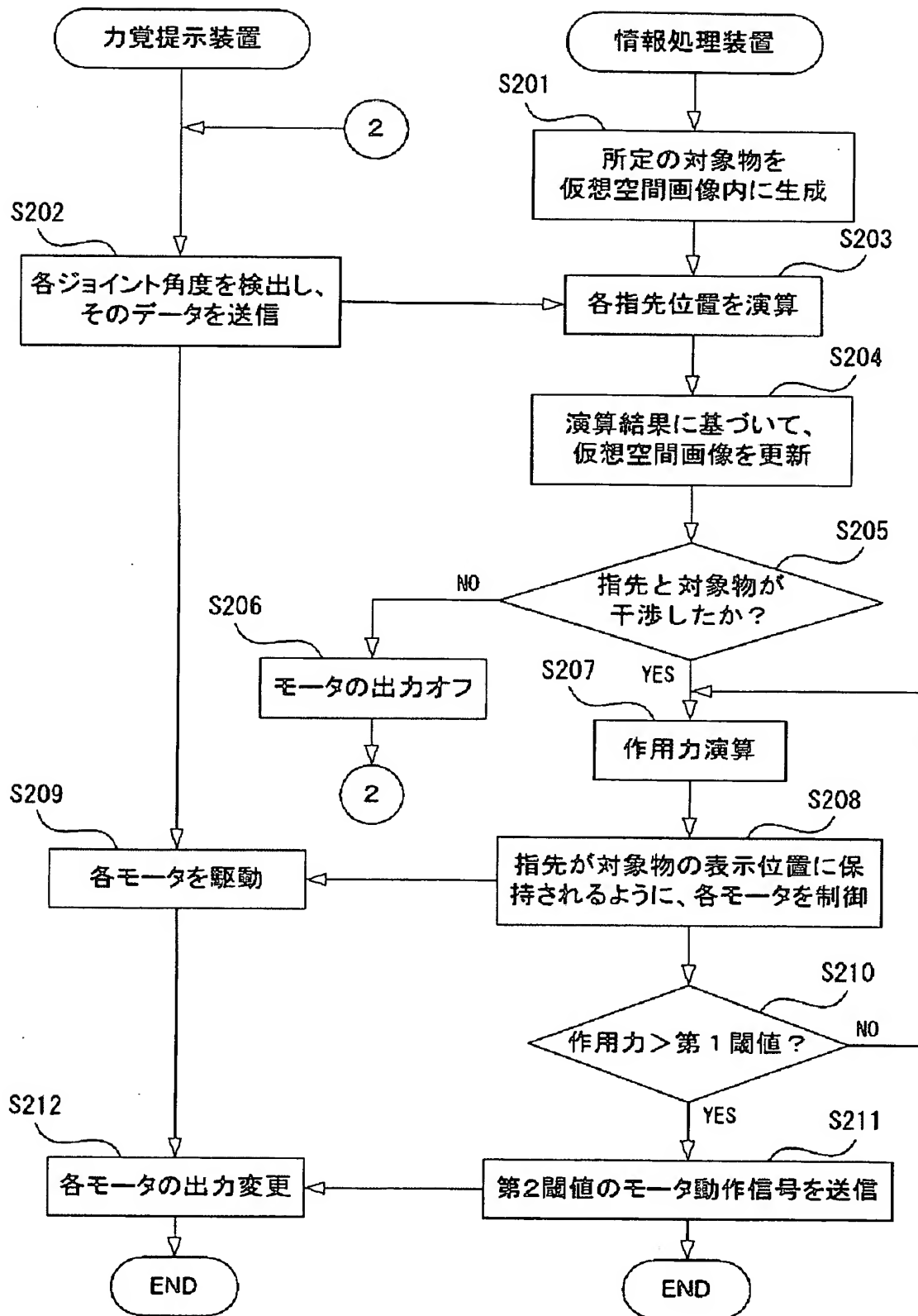
【図 23】



【図 24】

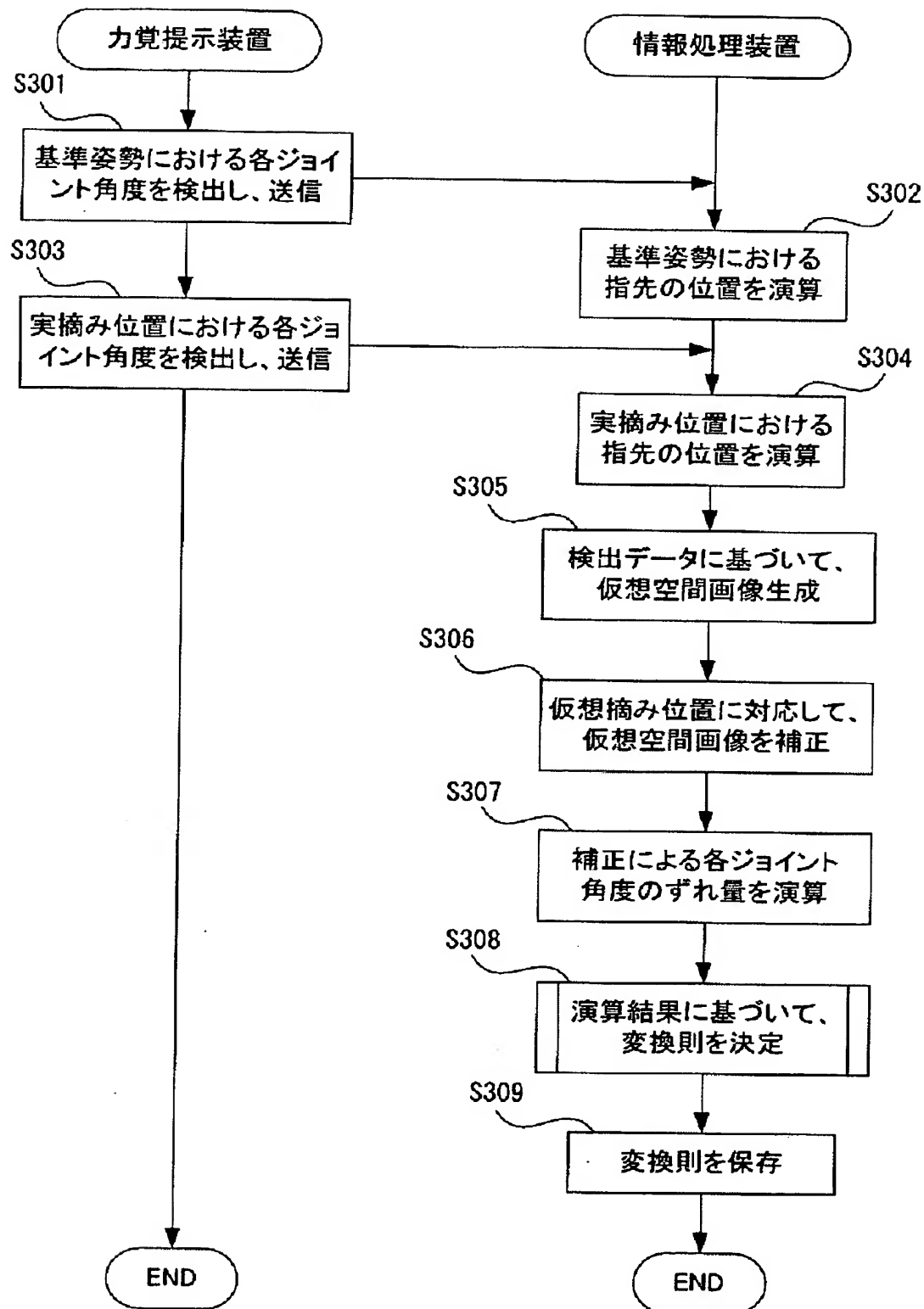


【図 25】

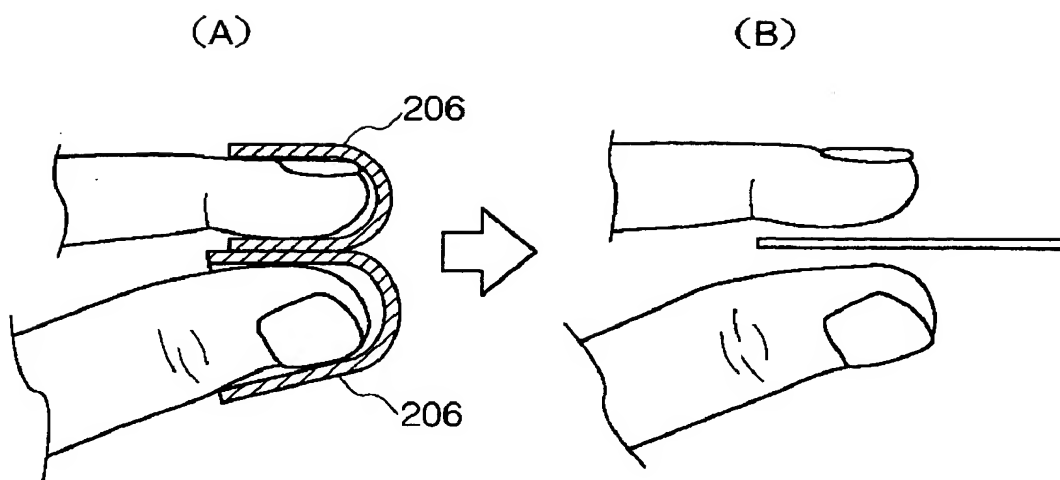




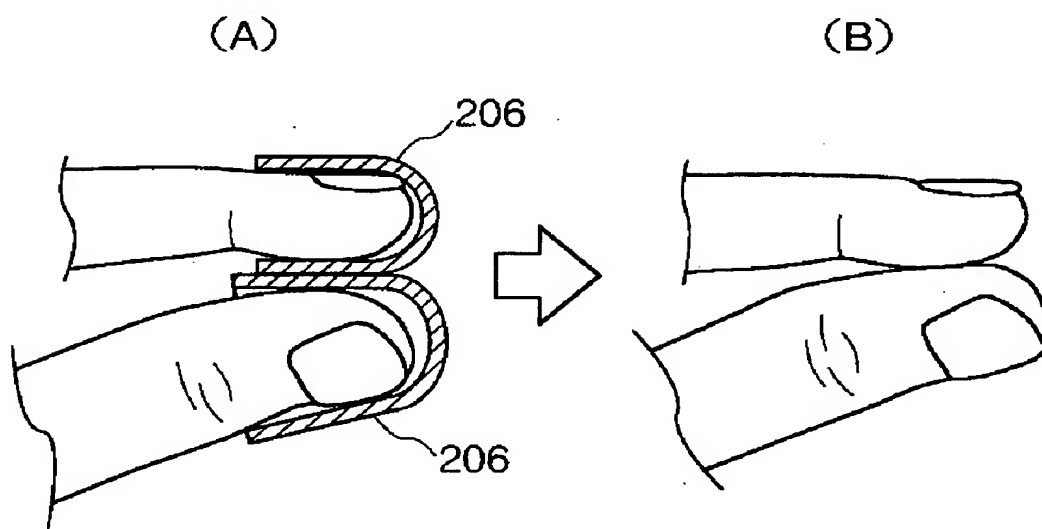
【図 26】



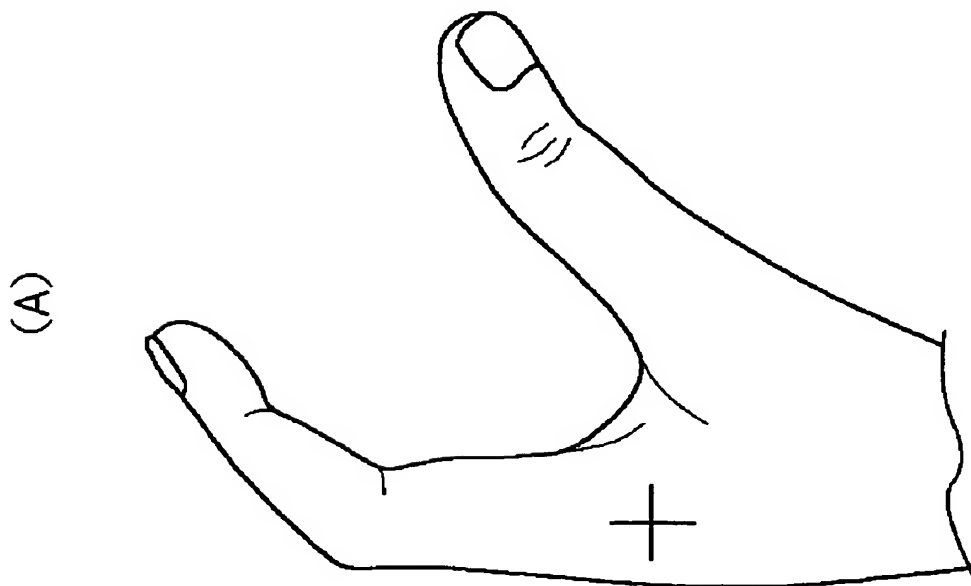
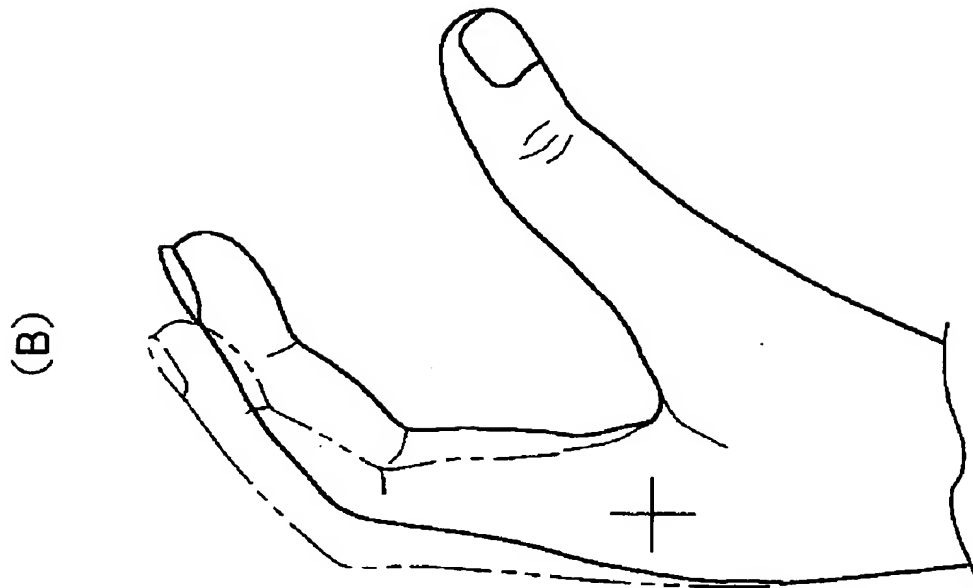
【図 27】



【図 28】



【図 29】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 力覚を提示する部分の厚みを考慮して仮想空間画像を補正することにより、仮想空間画像に応じて、力覚を提示する部位を適切に表示することができる力覚提示装置及び画像補正方法を提供する。

【解決手段】 本発明の力覚提示装置及び画像補正方法は、各ジョイント部に配置されるエンコーダによって、ユーザの手及び指が基準姿勢及び実摘み位置にある場合における力覚提示手段の各ジョイント角度を検出し（ステップ S 3 0 1、S 3 0 3）、検出データに基づいて各姿勢におけるユーザの指先位置を演算するとともに（ステップ S 3 0 2、S 3 0 4）、仮想摘み位置における上記ジョイント角度を演算し、実摘み位置と仮想摘み位置との間におけるジョイント角度のずれ量を演算し（ステップ S 3 0 7）、このずれ量に基づいて、仮想空間画像を補正するための変換則を決定する（ステップ S 3 0 8）。

【選択図】 図 2 6

認定・付加情報

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2 0 0 2 - 3 8 2 4 7 3 |
| 受付番号    | 5 0 2 0 1 9 9 3 0 2 4    |
| 書類名     | 特許願                      |
| 担当官     | 第七担当上席 0 0 9 6           |
| 作成日     | 平成 1 5 年 1 月 6 日         |

< 認定情報・付加情報 >

|       |             |
|-------|-------------|
| 【提出日】 | 平成14年12月27日 |
|-------|-------------|

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 8 2 4 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 2 3 6 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号

氏 名

セイコーエプソン株式会社